



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Observatório do Valongo

Marcelo de Lima Leal Ferreira

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA NEBULOSA PLANETÁRIA NGC 40 ATRAVÉS DE MAPEAMENTO ESPECTROSCÓPICO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Astronomia, Observatório do Valongo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Astronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Denise Rocha Gonçalves

Co-Orientador: Prof. Dr. Hektor Sthenos Alves Monteiro

Rio de Janeiro
Setembro de 2009

Leal-Ferreira, Marcelo de L.

Caracterização Físico-Química da Nebulosa Planetária NGC 40
Através de Mapeamento Espectroscópico

Marcelo de Lima Leal Ferreira

- Rio de Janeiro: UFRJ/OV, 2009

x, 72f.:il; 30 cm

Orientadora: Denise Rocha Gonçalves.

Co-Orientador: Hektor Sthenos Alves Monteiro.

Dissertação (mestrado) - UFRJ/ OV/ Programa de Pós-graduação
em Astronomia, 2009.

Referências Bibliográficas: f: 93-97.

1. Nebulosas Planetárias 2. NGC 40 3. Espectroscopia de Fenda Longa
4. Mapeamento Espectroscópico 5. Densidade e Temperatura Eletrônicas
6. Abundâncias Químicas I. Gonçalves, D. R. II. Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Observatório do Valongo, Programa de Pós-graduação em
Astronomia, 2009 III. Título.



Retirado de PhD Comics (www.phdcomics.com).

*I will be chasing a starlight
Until the end of my life
Muse – “Starlight”*

Agradecimentos

À Denise e ao Hektor, meus orientadores que, não só me deram a oportunidade de trabalhar neste projeto, mas também foram fundamentais no meu crescimento e amadurecimento no meio acadêmico.

Ao programa de financiamento da CAPES, pela bolsa de mestrado que recebi durante 2 anos.

À coordenação do programa de pós-graduação e a diretoria do Observatório do Valongo, em especial ao coordenador Hélio J. Rocha-Pinto, pelo esforço em sempre fornecer aos alunos as melhores condições de trabalho no instituto.

Aos meus professores da pós-graduação, por ministrarem excelentes cursos.

Ao Rabaça e ao Julio, que deram a mim e à Denise, o suporte técnico que precisávamos para as instalações dos programas em nossas máquinas.

Ao computador Einstein que, contrariando a Lei de Murphy, não apresentou problemas durante o desenvolvimento do projeto e escrita desta dissertação.

Aos amigos e colegas da pós-graduação, pela amizade, cafés, ajudas e discussões científicas sempre proveitosas. Nominalmente, agradeço ao Eduardo, Felipe, Andrés, Letícia, Theo, Álvaro, Nilo e, especialmente, ao Gustavo “Tchê”.

À Flávia, pela ajuda na revisão gramatical do texto.

À Letícia que, nos últimos meses do desenvolvimento deste trabalho, esteve sempre presente, prestando não apenas companhia, como também conselhos, dicas e muita(!) ajuda e paciência.

Ao Guto, Bruna, Maurício e Luan; a amizade de vocês é indescritível!

À minha família, pelo suporte durante a graduação e pós-graduação.

Ao *Bar do Espanhol*, pelos pastéis em horas de fome e por servir de sede oficial aos Encontros Asarov e González & González.

À comunidade Valonguiana, pelas amizades e acolhimento, durante todos os anos de graduação e pós-graduação.

Resumo

Este trabalho propõe o estudo físico-químico da nebulosa planetária NGC 40 a partir de mapas espectroscópicos. Desta forma, apresentamos os algoritmos que desenvolvemos para trabalhar com estes mapas. Esta necessidade origina-se no fato de que as análises físico-químicas de objetos nebulares são comumente realizadas através dos programas do *IRAF* (*Image Reduction Analysis Facility*). Estes programas fazem parte do algoritmo *Nebular* (*stsdas.analysis*) e trabalham com os valores numéricos das intensidades das linhas de emissão do objeto em estudo, integrados em todos os *pixels* de uma dada região. A técnica de mapeamento espectroscópico consiste em interpolar os perfis das linhas de emissão observadas para construir um mapa bidimensional para cada uma delas. Os mapas espectroscópicos para a nebulosa planetária NGC 40 foram construídos a partir de espectros observados de 16 fendas longas paralelas, obtidos com o *Andalucia Faint Object Spectrograph and Camera*, no *Nordic Optical Telescope*. A vantagem de se utilizar estes mapas espectroscópicos para as análises físico-químicas de um objeto é a obtenção da variação espacial de cada um dos parâmetros estudados (coeficiente de extinção, densidades e temperaturas eletrônicas e abundâncias químicas; iônicas e totais). Por outro lado, para que esta abordagem fosse possível, tornou-se necessário o desenvolvimento de programas de análise físico-química que trabalhem com mapas espectroscópicos. Os algoritmos desenvolvidos nesta dissertação são capazes de determinar — *pixel a pixel* — a variação espacial do coeficiente de extinção, de aplicar a correção do efeito de extinção, e de calcular a variação espacial da densidade e temperatura eletrônicas e abundâncias químicas. Estes algoritmos foram testados e mostramos que eles representam bem a realidade físico-química nebulosa, conforme descrita em Osterbrock & Ferland (2006). A técnica de mapeamento espectroscópico também foi testada e apresentamos a comparação entre os fluxos de NGC 40 obtidos a partir dos mapas e aqueles obtidos diretamente a partir de

uma dada fenda. Demonstrado o bom funcionamento da técnica de mapeamento espectroscópico e dos algoritmos que desenvolvemos, utilizamos os 31 mapas espectroscópicos de linhas de emissão para a análise de NGC 40. Entre os resultados obtidos para esta nebulosa planetária, destacamos a presença das variações espaciais encontradas nos mapas do coeficiente de extinção, densidade eletrônica e abundância química total de He, e a pouca variação espacial do mapa de temperatura eletrônica. Estes resultados confirmam a necessidade de análises com resolução espacial para estudos mais completos das propriedades físico-químicas das nebulosas planetárias, e mostram o potencial da técnica e algoritmos utilizados para a análise de outras nebulosas fotoionizadas.

Palavras-chave: Nebulosas planetárias: individual (NGC 40) - meio interestelar - temperatura e densidade eletrônicas - abundâncias químicas.

Abstract

This work studies, through spectroscopic mapping, the physical and chemical parameters of the planetary nebula NGC 40. As so, here we present the algorithms that we created to work with these maps. The need of developing these algorithms is based on the fact that the physical and chemical analysis of nebular objects are usually made using tasks from IRAF (Image Reduction Analysis Facility). These tasks are available in the Nebular Package (`stdas.analysis`), and work with numerical values, that correspond to emission line intensities that are obtained by integrating all the pixels from a region across the object. The spectroscopic mapping technique consists of interpolating the observed slit profiles to construct a two-dimensional map for a given emission line. The maps of the planetary nebula NGC 40 have been constructed from 16 parallel long-slit spectra obtained with ALFOSC at the Nordic Optical Telescope. The usage of these spectroscopic maps for the physical and chemical analysis of the object has the advantage of allowing to investigate the spatial variations of each of the analyzed parameters (extinction coefficient, electronic density and temperature and chemical abundances). On the other hand, to deal with this approach, it was necessary to develop algorithms capable of working with spectroscopic maps. These algorithms we developed in this work can calculate the spatial variation of the extinction coefficient, the extinction corrected intensities, the electronic density, and temperature and the chemical abundances. Here we discuss the test of the algorithms developed and show that they represent well the physical and chemical reality described in Osterbrock & Ferland (2006). We also show that the fluxes measurements based on the spectroscopic mapping technique agrees with the direct measurements from a single slit. After demonstrating that both the spectroscopic technique and the developed algorithms work properly, we applied them to the NGC 40 spectroscopic data. We obtained maps from 31 emission lines and the maps of the extinction coefficient, elec-

tronic density and temperature and chemical abundances were derived from them. We found that the extinction coefficient, the electronic density and the helium abundance maps shows significant spatial variations. On the other hand, the variation showed on the electronic temperature map is insignificant. These results confirm the necessity of spatial resolution when studying the physical and chemical parameters of planetary nebulae, and show the potential of the technique and the developed algorithms for the analysis of other photoionized nebulae as well.

Keywords: Planetary nebulae: individual (NGC 40) - interstellar medium - electronic density and temperature - chemical abundances

Índice

1	Introdução	1
1.1	Nebulosas Planetárias	1
1.1.1	Modelo de Formação	4
1.1.2	Classificação Morfológica	5
1.1.3	Classificação Química	7
1.1.4	Análise Química com Resolução Espacial	8
1.2	A Nebulosa Planetária NGC 40	10
2	Observações e Redução dos Dados	13
2.1	Observações	13
2.1.1	Imagem $H\alpha$	13
2.1.2	Espectros de Fenda Longa	13
2.2	Redução dos Dados	14
2.2.1	Redução da Imagem $H\alpha$	14
2.2.2	Redução dos Espectros	15
3	Ferramentas de Análise dos Dados	18
3.1	Mapeamento das Linhas de Emissão	18
3.2	Método de Tratamento dos Mapas	19
3.2.1	O ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO	22
3.2.2	ALGORITMO NEBULAR	25
3.2.3	Testes dos Nossos Algoritmos	31
4	Comparação Espectroscópica: Mapeamento \times Fenda Longa	43
4.1	Comparação 1: Medida dos Fluxos	43
4.2	Comparação 2: Resultados Físico-Químicos	45
5	Resultados	54
5.1	Linhas de Emissão	54
5.2	Parâmetros Físicos	63
5.3	Parâmetros Químicos	66
5.4	Reavaliação das Zonas de Baixa Razão Sinal-Ruído	72

6	Considerações Finais	78
6.1	Conclusões	78
6.2	Perspectivas	80
	Lista de Figuras	89
	Lista de Tabelas	90
A	Apêndice: Algoritmo de Correção de Extinção	91
B	Apêndice: Algoritmo Nebular	109

Capítulo 1

Introdução

1.1 Nebulosas Planetárias

As Nebulosas Planetárias (NP's) são conhecidas desde 1764, ano em que Charles Messier observou o objeto que conhecemos hoje como Nebulosa do Haltere (*Dumbbell Nebula*). William Herchel estudou profundamente esses objetos e os batizou de nebulosas planetárias por notar semelhança entre estas e o disco esverdeado de um planeta (ver revisão histórica de Kwok 2000).

Apenas na década de 50, através do trabalho de Shklovskii (Shklovskii 1956a, Shklovskii 1956b), as NP's começaram a ser interpretadas como parte da trajetória evolutiva estelar, como é atualmente aceito. Elas são um estágio evoluído de estrelas de massas baixa e intermediária, isto é, aquelas cujos caroços possuam massas entre $\sim 0,6 M_{\odot}$ e $\sim 1 M_{\odot}$. Estrelas com massas abaixo do limite inferior evoluem muito lentamente para se tornarem uma NP, enquanto que estrelas com massa acima do limite superior são luminosas por muito pouco tempo, impossibilitando suas detecções (Kwok 1994).

As nebulosas planetárias são compostas de uma estrela central quente (com temperatura efetiva entre $\sim 30.000 K$ e $\sim 150.000 K$), cercada de gás nebular. O gás tem origem nas ejeções das camadas atmosféricas da estrela *AGB* (*asymptotic giant branch*) progenitora da NP, e a estrela central da nebulosa é a remanescente desta estrela, sendo responsável pela ionização do gás. O futuro desta estrela central é tornar-se uma anã branca. A Figura 1.1 ilustra o caminho evolutivo de uma estrela de massa baixa ou de massa intermediária desde a seqüência principal (SP), passando pelas várias fases que resultam na NP e terminando somente com o caroço central, na fase de anã branca.

Vejamos, rapidamente, um resumo da vida da estrela até que culmine na formação da nebulosa planetária, como descrito em Swihart (1968), Clayton (1983) e Maciel (1999). Uma estrela no início de sua vida é composta basicamente de hidrogênio e poeira, e passa a maior parte da vida realizando a queima desse gás em seu caroço. Nesta fase a estrela está na seqüência principal do Diagrama HR. A estabilidade da estrela só é

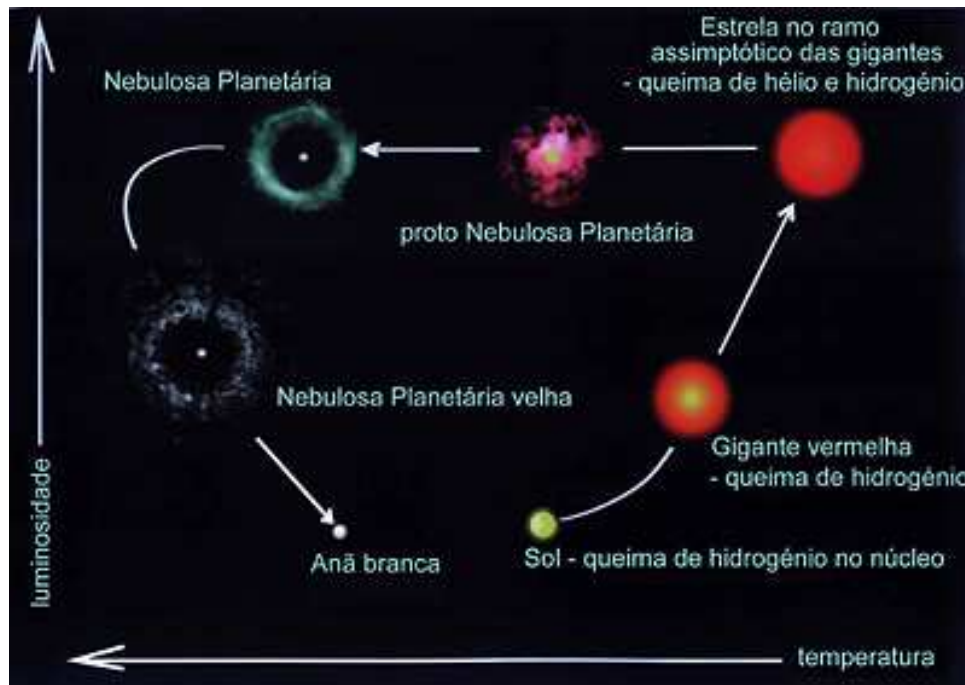


Figura 1.1: Trajetória de evolução das NP's. Figura adaptada de Kwok (2001), por Gonçalves (2004).

possível devido a esta queima, pois é esta que contrabalança a pressão gravitacional. A queima, ou reação termonuclear, faz com que partículas e átomos interajam entre si sob a ação de temperaturas e pressões elevadas, gerando novos átomos e partículas. No interior de um caroço estelar composto basicamente de H, as reações dominantes transformam estes átomos em átomos de hélio. Posteriormente, com um caroço de He e temperaturas suficientemente altas, outras reações ocorrem, gerando carbono, oxigênio e assim sucessivamente.

Como dito, a formação de uma NP está diretamente ligada à evolução de uma estrela de baixa massa ou de massa intermediária, mas os caminhos evolutivos percorridos por essas duas classes de estrelas não são iguais. Uma estrela de baixa massa, cujo valor inicial se encontra entre $0,8$ e $2,5 M_{\odot}$, passa $\sim 10^{10}$ anos na SP. Quando cerca de $\sim 10\%$ a 20% do H do caroço é consumido, a queima nesta região cessa e a pressão termonuclear torna-se insuficiente para suportar a pressão gravitacional contrária, o que culmina com a contração do caroço estelar. Com esta contração, a densidade e a temperatura do caroço se elevam, aquecendo também a camada vizinha, que atinge, assim, uma temperatura suficientemente alta para poder realizar a queima do H. Esta queima é responsável por aquecer camadas mais externas. A luminosidade da estrela aumenta e, portanto, o envoltório de gás que cerca o caroço se expande. Com a expansão da superfície estelar, a energia é dispersada sobre uma área maior, de tal forma que cada centímetro quadrado é mais frio, conferindo à emissão estelar uma coloração avermelhada. A estrela atinge, então, a fase de gigante

vermelha.

O caroço continua elevando a sua temperatura até que o patamar necessário para que se inicie a queima do He seja atingido. A queima de hélio produz ^{12}C que, combinado com ^4He pode se fundir em ^{16}O . Com a volta das reações de fusão no caroço, a contração nuclear cessa. A energia gerada nesta queima é toda direcionada para aumentar a temperatura do caroço; isto ocorre porque o caroço de uma estrela deste tipo, nesta fase, é degenerado, o que impossibilita o aumento de sua pressão, ou seja, o caroço não se expande, e transforma-se em um caroço inerte de C e O. A conseqüência é a intensificação da queima de He no caroço, que ocorre em caráter explosivo – o chamado *flash* do He. Após o *flash*, ao atingir um novo patamar de temperatura, os elétrons deixam de ser degenerados e o gás se expande, podendo enfim se resfriar. Agora a estrela passa a queimar He normalmente no caroço e H na camada externa vizinha.

Quando se esgota o He nuclear, mais uma vez o caroço se contrai e as camadas externas se expandem. A estrela passa a queimar tanto o He quanto o H nas camadas adjacentes ao caroço. Esta é a fase *AGB*. Enquanto a camada de He vai se tornando menos espessa, a camada de queima de H se torna mais proeminente até que a luminosidade da queima do He começa a oscilar. Com o aumento da luminosidade da camada de He e o declínio da luminosidade da queima de H, inicia-se a fase de instabilidades da *AGB* e pulsos térmicos são produzidos. Esses pulsos culminam em ventos intensos que ejetam as camadas mais externas da estrela. Ela atinge, então, a fase de proto-NP e evolui, finalmente, à fase de nebulosa planetária (Habing & Olofsson 2004).

Para uma estrela de massa intermediária, entre $2,5 M_{\odot}$ e $8 M_{\odot}$, a evolução ocorre de forma idêntica a das estrelas de baixa massa até o momento em que se inicia a queima do H na camada vizinha ao caroço estelar. A partir daí, algumas diferenças ocorrem. Antes que o caroço comece a queima do He, o H da camada vizinha começa a se esgotar, até que uma nova contração do caroço ocorre, gerando mais energia para as camadas mais externas, que se expandem, esfriando a superfície da estrela. Esta é a fase de gigante vermelha para uma estrela de massa intermediária.

A temperatura no caroço continua se elevando até que ele inicie a queima do He. Como o caroço desta estrela não está completamente degenerado – contrariamente ao caso anterior – sua pressão aumenta, diminuindo a temperatura. Uma nova contração do caroço culmina em nova queima do He, até que este se esgote. Neste ponto, novamente a pressão gravitacional não encontra uma pressão oposta que a sustente e, mais uma vez, comprime o caroço aumentando ainda mais a sua temperatura e aquecendo ainda mais a camada vizinha que, agora, passa a queimar o He. A camada adjacente, mais externa a esta, passa a queimar H. A estrela atinge uma fase de queima rápida nas camadas até que elas se desprendem da mesma, através da combinação de instabilidades dinâmicas e pulsos, atingindo a fase de nebulosa planetária.

Schwarz & Monteiro (2006) destacam que a importância desses objetos vai além do

entendimento de como as camadas externas, as quais foram ejetadas da estrela, acabam por formar as diversas morfologias que observam-se nas NP's. Isto porque, nebulosas planetárias são ferramentas poderosas no estudo (i) dos processos atômicos e de plasmas (e.g. Aller 1984), (ii) da evolução química de nossa Galáxia (e.g. Maciel & Costa 2003), (iii) de distâncias, cinemática e propriedades químicas de outras galáxias (e.g. Ciardullo 2003, Richer *et al.* 2009, Magrini & Gonçalves 2009) e (iv) do material entre aglomerados como, por exemplo, em Feldmeier *et al.* (2004).

A composição química dos envoltórios que compõe as NP's é resultante da mistura dos elementos produzidos pela estrela progenitora e dragados para a superfície com o material original do qual a estrela foi formada. O estudo das abundâncias químicas das nebulosas planetárias permite, então, que 2 grupos distintos de elementos sejam acessados. O primeiro grupo é formado por elementos que têm suas abundâncias modificadas pela nucleossíntese e processos de mistura ao longo da evolução estelar de estrelas de massa baixa e intermediária, tais como He, N e C. O segundo grupo é formado por elementos cujas abundâncias não são afetadas pela evolução da estrela progenitora, tais como S, Ar e, em primeira aproximação, O e Ne¹. Dessa forma, o estudo de NP's permite obter informações sobre abundâncias de elementos que estão enriquecendo o meio interestelar, assim como informações que remetem à abundância do meio interestelar na época em que a estrela progenitora da NP se formou (Stasińska 2002, para uma revisão recente).

1.1.1 Modelo de Formação

A formação das nebulosas planetárias é explicada pela Teoria dos Ventos Interagentes (*Interacting Winds Theory*), de Kwok *et al.* (1978). A origem de uma NP está relacionada com o mecanismo de instabilidades dinâmicas e pulsações de uma estrela *AGB*. Este mecanismo é responsável pela ejeção das camadas externas da estrela para o meio circumstelar. Os envoltórios circumstelares da *AGB* são ejetados ao longo de algumas centenas de milhares de anos, de forma gradual, no vento estelar lento ($\sim 10 - 20 \text{ km s}^{-1}$). Este vento extingue a atmosfera da estrela *AGB*, deixando, então, o caroço quente da estrela exposto. Este caroço quente, remanescente, é a estrela central da nebulosa. O vento da estrela pós-*AGB*, proveniente da pressão de radiação, emerge da estrela central em alta velocidade ($\sim 2.000 - 4.000 \text{ km s}^{-1}$) e varre o material ejetado pelo vento lento da estrela *AGB*. A interação entre esses ventos é responsável pela origem de uma de onda de choque. A frente de onda de choque reversa gera uma estrutura quente (da ordem de milhões de graus) nas proximidades da estrela central e a pressão térmica é responsável

¹Hoek & Groenewegen (1997) e Marigo (2001) previram, teoricamente, a possibilidade de estrelas progenitoras de NP's produzirem O ou Ne e dragá-los à superfície estelar, enriquecendo o meio circumstelar. Péquignot (2000) mostrou que a produção destes elementos nessas estrelas é efetiva apenas para baixas metalicidades. De fato, esta produção foi confirmada observacionamente em alguns trabalhos dedicados à abundância química em galáxias de baixa metalicidade (Magrini *et al.* 2005, Peña *et al.* 2007).

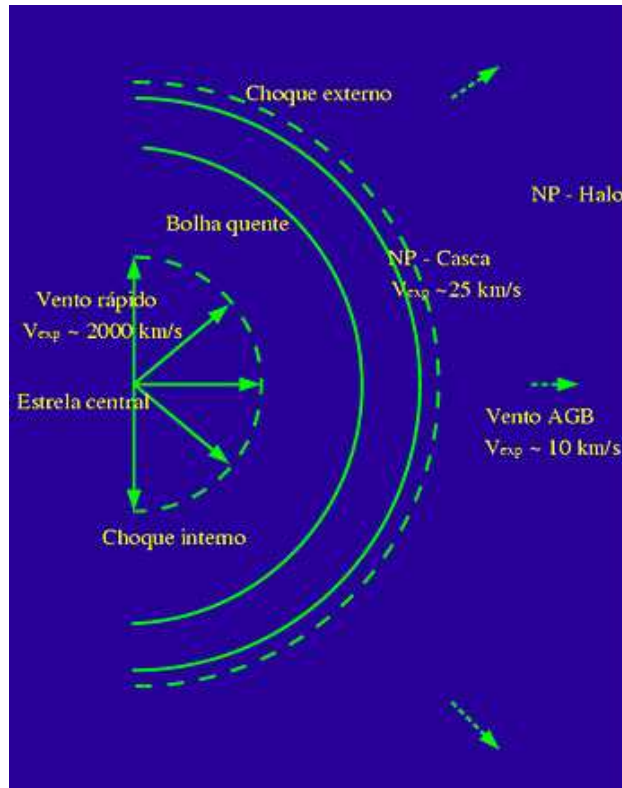


Figura 1.2: Esquema da Teoria dos Ventos Interagentes. Figura adaptada de Kwok (2001), por Gonçalves (2004).

por sua expansão. A frente de onda de choque externa é isotérmica e dá origem ao envoltório (*inner rim*) de alta densidade. Esta alta densidade é eficiente em resfriar o gás. O material circunstelar que ainda não sofreu interação com o vento rápido também pode ser observado nas NP's. Esse material é identificado como o halo da nebulosa planetária (Kwok *et al.* 1978, Kwok 1994). A Figura 1.2 ilustra o esquema da Teoria dos Ventos Interagentes. O “choque interno” indica o limite da frente de choque reversa. A “casca” (ou envoltório) indica o limite externo do *inner rim*. A “bolha quente”, produzida pelo choque reverso, não é observada na faixa espectral do óptico, e sim em raio-X (Chu *et al.* 2003). É importante destacar também outra componente, que não está relacionada à interação entre os ventos e, por isso, não aparece representada na Figura 1.2. Esta componente, chamada de *outer shell* (ou *attached shell*) é um anel externo ao *inner rim*, cuja estrutura de densidade é determinada pela frente de ionização (Mellema 1994, Villaver *et al.* 2002).

1.1.2 Classificação Morfológica

A Teoria dos Ventos Interagentes, tal como esquematizada na Figura 1.2, somente dá conta da formação de nebulosas esfericamente simétricas. No entanto, as nebulosas planetárias se apresentam em morfologias diferenciadas.

Para contemplar este fato, a Teoria dos Ventos Interagentes foi generalizada, de forma

que considera-se uma distribuição anisotrópica no vento lento (vento da *AGB*) que, na interação com o vento rápido, propicia a criação de nebulosas cujas morfologias sejam tão diferenciadas quanto as que se observam. Balick & Frank (2002) revisam todos os aspectos importantes da generalização deste modelo e discutem, também, sua compatibilidade observacional.

A classificação morfológica é importante, portanto, porque pode evidenciar padrões recorrentes entre os diferentes tipos morfológicos, e revelar processos de formação comuns entre as NP's e outros objetos. E, uma questão importante que deve ser destacada é: existe um modelo unificado que possa explicar todas as morfologias das estruturas macroscópicas das nebulosas planetárias? Balick & Frank (2002) destacam que não há explicação única que se ajuste a todas as observações, e suspeitam que os processos atuantes agem de forma diferenciada, quanto às suas intensidades e estágio de evolução de uma para outra classe morfológica.

Uma das classificações morfológicas de nebulosas planetárias é a proposta por Stanghellini *et al.* (1993). Ela e seus colaboradores classificaram as NP's em cinco categorias, conforme descrito a seguir:

- Estelares: fontes pontuais.
- Elípticas: com ao menos dois eixos de simetria (eixo maior ou polar e eixo menor ou equatorial).
- Bipolares: com os dois eixos de simetria acima, lóbulos e uma “cintura” bem definida.
- Com simetria de ponto: que contenham estruturas simétricas em relação ao centro.
- Irregulares: sem estruturas simétricas.

A partir da utilização desta classificação morfológica, e analisando uma amostra de 359 NP's da Galáxia, Corradi & Schwarz (1995) classificaram 64% dos objetos como elípticos, 14% como bipolares, 4% contendo simetria de ponto e 18% como irregulares.

Porém, o esquema de classificação proposto por Stanghellini *et al.* (1993) não é o único. Outro esquema é descrito, por exemplo, por Manchado (2003), que classifica as nebulosas em redondas (25%), elípticas (58%) e bipolares (17%). Essa classificação inclui, ainda, subclasses onde as redondas e elípticas são diferenciadas em função dos anéis múltiplos, e as elípticas e bipolares de acordo com sub-estruturas (microestruturas) que apresentam simetria de ponto. Além disso, o autor ainda chama a atenção para o fato de que estão incluídas, junto às bipolares, outra classe (de pouca representatividade estatística) e a chama de nebulosas quadrupolares.

Corradi & Schwarz (1995) correlacionaram as morfologias das nebulosas planetárias com a composição química desses objetos. A seguir são mostradas as correlações que

dizem respeito ao He, O e N, elementos cujas abundâncias serão estudadas mais adiante no presente trabalho.

- He: em média, as NP's elípticas possuem abundâncias ligeiramente superior ao Sol, enquanto que a abundância nas bipolares é maior por um fator de 1,6, em média. As bipolares também mostram uma maior dispersão em relação ao valor médio do que as elípticas.
- O: não há evidência de correlação entre as abundâncias de O e as morfologias das nebulosas.
- N: as bipolares são superabundantes em N, em comparação com as elípticas. A razão N/H das bipolares é maior, em média, por um fator 4 em relação ao Sol, enquanto que para as elípticas esta razão é, em média, 2 vezes maior que a solar.

Estes autores também correlacionaram as morfologias às posições dos objetos na Galáxia e às massas das estrelas progenitoras. Eles mostram que as nebulosas bipolares localizam-se muito mais próximas ao plano galáctico do que as elípticas (a latitude galáctica média das bipolares é $3,4^\circ$ e a das elípticas é $9,4^\circ$). As irregulares estariam em posições intermediárias ($4,3^\circ$), mas este resultado pode estar influenciado por classificações errôneas de irregulares (que seriam, na verdade, bipolares). Quanto as massas das progenitoras, Corradi & Schwarz (1995) concluem que as bipolares são originárias de progenitoras mais massudas ($> 1,5 M_\odot$) do que as NP's de outras morfologias.

1.1.3 Classificação Química

Com base em suas composições químicas, Peimbert (1978) classificou as nebulosas planetárias em 4 tipos, como discutido a seguir.

As chamadas de Tipo I são aquelas provenientes de estrelas da População I². Os objetos desta classe apresentam altas abundâncias de elementos pesados, sendo ricos em He e N. Suas altas abundâncias de He e N indicam maiores massas de suas estrelas progenitoras, quando comparadas com as das outras nebulosas ($2 \leq M/M_\odot \leq 6$). Como consequência das grandes massas e momentos angulares de suas estrelas progenitoras, grande parte das nebulosas Tipo I são bipolares. Além disso, os objetos Tipo I também apresentam estruturas extremamente filamentosas, responsáveis por grandes variações da densidade eletrônica (Peimbert 1978, Peimbert & Torres-Peimbert 1983). Segundo Peimbert & Torres-Peimbert (1983), entre 10% e 30% das NP's se encaixam nesta classe. Já Perinotto (1991) afirma, a partir de uma análise de 209 objetos, que 44% das nebulosas são Tipo I.

²Estrelas podem ser classificadas em duas populações, ou em uma escala gradual que vai de População I Extrema à População II Extrema. Compõem a População I aquelas estrelas formadas mais recentemente. Esta população inclui o Sol e estrelas localizadas no braço espiral da Galáxia. A composição química típica da População I é similar à composição química solar (Novotny 1973).

As nebulosas planetárias Tipo II, menos abundantes em elementos pesados do que as Tipo I, correspondem à População I Intermediária³ e são ricas em N e C. A maior parte das NP's são Tipo II, o que indica que suas estrelas progenitoras tenham sido de massas intermediárias (Peimbert 1978).

As Tipo III, ainda mais pobres em elementos pesados do que as Tipo II, são as nebulosas com altas velocidades de deslocamento na Galáxia ($|\Delta v| > 60 \text{ km s}^{-1}$), que não pertencem ao halo. Suas abundâncias de O e Ne são similares às do Tipo II. Por outro lado, espera-se que os objetos desta classe sejam pobres em Fe (Peimbert 1978).

Finalmente, as nebulosas planetárias de menores abundâncias de elementos pesados, as Tipo IV, compõem a população do halo da Galáxia. Relativamente às outras nebulosas, estes objetos apresentam um leve déficit de He (Peimbert 1978).

Kingsburgh & Barlow (1994) propuseram um novo critério de classificação química das nebulosas planetárias. Os objetos Tipo I seriam aqueles cujas estrelas progenitoras tenham tido a camada adjacente ao caroço enriquecida de carbono primário e que produziram N através da queima deste C. Esses objetos seriam reconhecidos por possuírem abundâncias totais de N maiores do que as abundâncias de C + N das regiões H II da mesma galáxia. Para a Galáxia, este critério é equivalente ao fato de apresentarem $N/O > 0,8$. Estes autores não encontraram diferenças significativas entre as abundâncias de O dos objetos Tipo I e dos não-Tipo I.

A Tabela 1.1 lista os valores característicos das abundâncias de He, O e N para os 4 tipos de nebulosas planetárias dados por Peimbert (1978) e para os 2 tipos de Kingsburgh & Barlow (1994). Os valores relativos a Kingsburgh & Barlow (1994) são apresentados com suas dispersões.

É importante destacar, porém, que diversos trabalhos sugerem atualizações aos valores propostos por Peimbert (1978), listados nesta tabela (Peimbert & Torres-Peimbert 1983, Faúndez-Abans & Maciel 1987, Maciel 1989, Maciel & Köppen 1994, Quireza *et al.* 2007). Segundo o mais recente destes artigos, as nebulosas Tipo I teriam He/H maior ou igual a 0,125 e $\log(N/O)$ maior ou igual a -0,30. As NPs Tipo II seriam subdivididas em IIa e IIb, de forma que tanto as NP's com He/H maior ou igual a 0,125 e $\log(N/O)$ menor que -0,30, quanto aquelas com He/H menor que 0,125 e $\log(N/O)$ maior ou igual a -0,60 seriam do Tipo IIa. As Tipo IIb apresentariam He/H menor que 0,125 e $\log(N/O)$ menor que -0,60.

1.1.4 Análise Química com Resolução Espacial

Análises das abundâncias químicas de nebulosas planetárias, com resolução espacial, são necessárias para o estudo das possíveis variações de abundância química entre os

³Estrelas que compõe a População I Intermediária localizam-se na vizinhança solar e apresentam linhas de absorção, metálicas, proeminentes (Clayton 1983).

Tabela 1.1: Abundâncias características das nebulosas planetárias, de acordo com as classificações de Peimbert (1978) e Kingsburgh & Barlow (1994).

Abundância do Elemento	(Peimbert 1978)				(Kingsburgh & Barlow 1994)	
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo I	Não-Tipo I
He	0,16	0,11	0,11	0,10	$0,129 \pm 0,037$	$0,112 \pm 0,015$
O($\times 10^{-4}$)	6,31	7,94	6,31	0,50	$4,47_{3,16}^{-6,31}$	$4,90_{3,47}^{6,92}$
N($\times 10^{-4}$)	10,0	2,00	1,58	0,25	$5,25_{3,72}^{7,41}$	$1,38_{0,87}^{2,19}$
N/O	> 0,50	–	–	–	> 0,80	< 0,80

diversos componentes desses objetos. Esta questão é importante porque os materiais encontrados em diferentes posições de uma NP podem traçar a não-homogeneidade química da perda de massa ou serem oriundos de diferentes episódios de perda de massa, estando ligados a diferentes etapas da evolução estelar (Corradi *et al.* 1997).

Perinotto & Corradi (1998) fizeram análises espacialmente resolvidas de 13 NP's, a partir de observações de fenda longa, e não encontraram variação espacial significativa nas abundâncias de He, O, N, Ne, Ar e S. Por outro lado, Balick *et al.* (1994) sugerem que as nebulosas planetárias apresentem uma superabundância de nitrogênio nas estruturas de baixa ionização, o que poderia indicar que essas estruturas tenham sido ejetadas em épocas diferentes pela estrela progenitora da nebulosa. Gonçalves *et al.* (2003) investigaram a nebulosa planetária NGC 7009, a partir de observações espectroscópicas de fenda longa, espacialmente resolvidas, e obtiveram como resultado que a abundância de N em suas estruturas de baixa ionização não é tão superior àquela do resto da nebulosa, quanto previsto por Balick *et al.* (1994). Todavia, encontraram que estas estruturas teriam uma marginal superabundância de N (cerca de duas vezes) se comparadas ao resto da nebulosa. Somente com os modelos tridimensionais de fotoionização (Gonçalves *et al.* 2006), cujos vínculos observacionais são os mesmos da análise empírica de Gonçalves *et al.* (2003), é que mostrou-se definitivamente que a superabundância de N nas estruturas de baixa ionização de NGC 7009 deve ser um efeito dos fatores de correção de ionização utilizados na determinação das abundâncias, e não um resultado da evolução da estrela central.

Tsamis *et al.* (2008) também realizaram análises químicas (e físicas) de NP's com resolução espacial. A técnica utilizada por esses autores foi diferente daquela dos autores citados no parágrafo anterior. Desta vez foram analisados dados *IFU* (unidade de campo integrado) que forneceram mapas espectroscópicos bidimensionais de 8 linhas de emissão. Uma unidade de campo integrado pode ser pensada como se uma série de fendas longas fossem posicionadas em conjunto, no sentido de que um campo $m \times n$ obtido através de um único telescópio equivalesse a usar m telescópios equipados com fendas longas de n *pixels* cada. Os mapas obtidos por Tsamis *et al.* (2008) correspondem a frações de cada uma das 3 nebulosas analisadas.

Através deste método, os autores determinaram, para as regiões observadas, mapas

das abundâncias iônicas de He^+ , He^{++} , O^{++} e C^{++} , além dos mapas da abundância total de He. Os enfoques dados por Tsamis *et al.* (2008) foram dois: (i) A comparação entre as abundâncias obtidas através de linhas excitadas colisionalmente (*CEL*) com as abundâncias obtidas através das linhas de recombinação do óptico (*ORL*), com o objetivo de analisar o problema das discrepâncias das abundâncias de oxigênio, quando calculadas através de cada um desses tipos de linhas. E, (ii), a procura de regiões nebulares de alta metalicidade, cujas origens e massas relativas ao gás nebuloso ionizado total permanecem desconhecidas. Segundo os autores, o mapeamento bidimensional das regiões nebulares é consideravelmente vantajoso para isolar regiões de alta metalicidade e em estudos que, como este, utilizam linhas de emissão bastante fracas.

Tsamis *et al.* (2008) verificaram que há variação da discrepância das abundâncias de O^{++} obtidas com as *CEL*'s e as *ORL*'s entre as NP's estudadas. Esses autores também estabeleceram correlações entre o estado de ionização do gás e as discrepâncias das abundâncias de O^{++} para 2 nebulosas e entre as discrepâncias das abundâncias de O^{++} , e as abundâncias de C^{++} e O^{++} com a temperatura eletrônica, para os 3 objetos estudados. Eles concluem que as *ORL*'s “metálicas” nessas nebulosas estão, de alguma forma, associadas ao plasma altamente ionizado, e que as *ORL*'s e *CEL*'s dos elementos pesados têm origem em parcelas do gás altamente não correlacionadas.

1.2 A Nebulosa Planetária NGC 40

Este trabalho estuda a nebulosa planetária NGC 40 (PNG 120.0+09.8); um objeto cujas estruturas mais brilhantes (*inner rim + outer shell*) têm dimensões de, aproximadamente, 60 *arcsec* (Sabbadin *et al.* 2000). Esta NP se localiza a uma distância de 980 *pc* (Meaburn *et al.* 1996) e sua morfologia é elíptica, com aberturas nas extremidades do eixo maior (Pottasch *et al.* 2003). Meaburn *et al.* (1996) identificam as estruturas deste objeto como: caroço brilhante, halo interno suave, halo filamentar externo e ‘jato’. Um fato que chama a atenção é a diferença entre as morfologias, observada em $\text{H}\alpha$ e $[\text{N II}]$, e a observada em $[\text{O III}]$. Balick *et al.* (1987) descrevem que, na imagem de $[\text{O III}]$, NGC 40 apresenta uma estrutura em forma de anel no interior na nebulosa e interpretam que esta emissão tem origem em um meio mais quente, de baixa densidade, localizado entre a bolha quente e os filamentos de $\text{H}\alpha$ e $[\text{N II}]$.

A estrela central de NGC 40 é uma Wolf-Rayet de tipo espectral WC 8 com massa atual da ordem de 1 M_{\odot} (Meaburn *et al.* 1996). A velocidade terminal do vento dessa estrela está entre 1.800 (Bianchi & Grewing 1987) e 2.370 km s^{-1} (Benvenuti *et al.* 1982). Grosdidier *et al.* (2001) atentam para o fato de que este vento é altamente variável em uma escala de tempo muito curta, o que indica que ele tem uma origem turbulenta. Esta turbulência seria proveniente unicamente de fenômenos atmosféricos da estrela. O valor da taxa de perda de massa neste vento não é uma unanimidade na literatura e o

intervalo entre $\sim 10^{-5}$ e $10^{-8} M_{\odot} \text{ ano}^{-1}$ abrange valores obtidos por diferentes autores (Bianchi 1992, Cerruti-Sola & Perinotto 1985).

O campo de velocidade de expansão deste objeto está correlacionado com o grau de excitação do gás, de maneira que quanto maior é o grau de excitação, maior é a velocidade do movimento radial (Sabbadin *et al.* 2000). Já a velocidade relativa de NGC 40 em relação ao meio interestelar é $\sim 64 \text{ km s}^{-1}$ (Martin 2002) e a densidade numérica média de H neste meio que a cerca é $< 0,05 \text{ cm}^{-3}$ (Reynolds 1989).

A temperatura efetiva da estrela central de NGC 40 é motivo de discussão na literatura. Autores que estudam o gás da nebulosa afirmam que seu baixo grau de excitação⁴ é compatível com uma estrela central de temperatura de $\sim 33.000 \text{ K}$ (Acker *et al.* 2002), enquanto que, através do estudo do núcleo do objeto, outros autores concluem que sua temperatura é $\sim 90.000 \text{ K}$ (Bianchi & Grewing 1987). Estes últimos propõem que uma “cortina de carbono”, possivelmente localizada na zona do vento rápido, seja responsável por esconder a temperatura efetiva real da estrela central. Clegg *et al.* (1983) destacam, a partir de dados do ultra-violeta, que o fluxo de C IV 1549 Å, do envoltório nebuloso, é alto demais para ter sido produzido a partir de processos de excitação térmica normais, e afirmam ser provável que essa produção seja consequência de processos que envolvem o vento da estrela central.

No espectro de raios-X, esta nebulosa planetária apresenta uma região de emissão em forma de anel, e a correspondência desta região com o *inner rim* indica que o envoltório brilhante, observado no espectro óptico, tem origem no choque do vento rápido proveniente da estrela central. A ausência de emissão raio-X associada às aberturas do envoltório sugerem que este vento é mais ou menos esfericamente simétrico, com possível aumento ao longo do plano equatorial (Montez *et al.* 2005). Estes autores destacam, ainda, os baixos valores para a temperatura ($T \sim 10^6 \text{ K}$) e luminosidade ($L \sim 1,5 \times 10^{30} \text{ erg s}^{-1}$) inferidas a partir das observações de NGC 40 em raio-X.

Diferentes zonas de NGC 40 foram averiguadas por autores que utilizaram dados ópticos para determinar os parâmetros físicos e químicos de seu gás, conforme mostrado a seguir:

- Diversas regiões de NGC 40 que, segundo os autores, são representativas da nebulosa como um todo (Aller *et al.* 1972, Pottasch *et al.* 2003).
- A região brilhante, de aproximadamente $12 \text{ arcsec} \times 7 \text{ arcsec}$, localizada aproximadamente entre $+15$ e $+20 \text{ arcsec}$ na direção do eixo menor e entre -10 e 0 arcsec na direção do eixo maior (ver Figura 2.1) (Clegg *et al.* 1983, Pottasch *et al.* 2003).

⁴Um objeto de baixo grau de excitação é assim classificado, por Aller (1984), quando as linhas de emissão de He II 4686 Å e Ne V 3426 Å estão ausentes.

- A região que parte da zona localizada à -15 arcsec no eixo maior e -20 arcsec no eixo menor e atravessa a nebulosa até $+15 \text{ arcsec}$ no eixo maior, e $+20 \text{ arcsec}$ no eixo menor (Liu *et al.* 2004a, Delgado-Inglada *et al.* 2009).

No entanto, Pottasch *et al.* (2003), que também utilizam os dados de Aller & Czyzak (1979)⁵, destacam que, infelizmente, um espectro óptico que cubra completamente o objeto nunca antes fora obtido e, mesmo coletando os dados de 3 outros trabalhos, afirmam que não é claro o quão próximo seus resultados estão da caracterização do objeto como um todo.

Os resultados dos trabalhos de Aller & Czyzak (1979), Clegg *et al.* (1983), Pottasch *et al.* (2003), Liu *et al.* (2004a) e Delgado-Inglada *et al.* (2009) serão comparados, mais adiante, com os resultados do presente trabalho, que apresenta um estudo dos parâmetros físicos e químicos do gás de NGC 40 a partir de observações espectrais espacialmente resolvidas. Tais observações foram realizadas utilizando fenda longa em 16 posições paralelas ao longo do eixo maior da NP, de forma que quase a totalidade do objeto será analisada neste estudo.

Esta dissertação está estruturada da seguinte maneira: o Capítulo 2 apresenta os dados e a redução dos dados; no Capítulo 3 as ferramentas para a análise são discutidas; comparações entre o método de análise utilizado e investigações através de fenda longa são feitas no Capítulo 4; o Capítulo 5 exhibe e discute os resultados obtidos; e o Capítulo 6 apresenta as conclusões e perspectivas do trabalho.

⁵A região relativa ao trabalho de Aller & Czyzak (1979) não está bem definida e, por isso, não foi incluída na lista de regiões de NGC 40 estudadas por outros autores. Pottasch *et al.* (2003) afirmam que, possivelmente, esta região é a mesma estudada por Clegg *et al.* (1983).

Capítulo 2

Observações e Redução dos Dados

2.1 Observações

Os dados deste trabalho foram observados pelo Dr. Hugo Schwarz e pelo Dr. Hektor Monteiro. Compõem estes dados uma imagem de filtro estreito em $H\alpha$ e espectros ópticos de fenda longa. As observações foram realizadas na noite do dia 28 de outubro de 2005 no telescópio nórdico de 2,56 m – o *Nordic Optical Telescope (NOT)* – tendo acoplado o instrumento *ALFOSC (Andalucia Faint Object Spectrograph and Camera)* que possui uma escala de placa de $0,189 \text{ arcsec pixel}^{-1}$. O telescópio *NOT* localiza-se no Observatório *Roque de Los Muchachos (European Northern Observatory, La Palma, Espanha)*.

2.1.1 Imagem $H\alpha$

O tempo de exposição da imagem $H\alpha$ de NGC 40 utilizada neste trabalho foi de 30 s e o *seeing*, durante a exposição, foi de $0,89 \text{ arcsec}$. A Figura 2.1 apresenta esta imagem. A figura também identifica as 5 regiões da nebulosa que foram estudadas neste trabalho e mostra os posicionamentos da fenda, superpostos à imagem $H\alpha$ da nebulosa.

Uma das 5 regiões investigadas (*NF*) é a região identificada, por Meaburn *et al.* (1996), como halo filamentar externo. As outras 4 zonas são subdivisões da região que eles identificaram como caroço brilhante. Cada uma dessas regiões tem extensão e localização que variam de acordo com a posição da fenda. As identificações mostradas na Figura 2.1 se baseiam na estrutura da nebulosa, e não na posição de uma fenda específica. Voltaremos à identificação das estruturas quando da discussão dos fluxos e resultados físico-químicos para a fenda G (Capítulo 4).

2.1.2 Espectros de Fenda Longa

As observações espectrais de fenda longa foram realizadas em 16 posições paralelas ao longo do eixo maior da nebulosa. A Tabela 2.1 apresenta essas 16 posições, relativamente

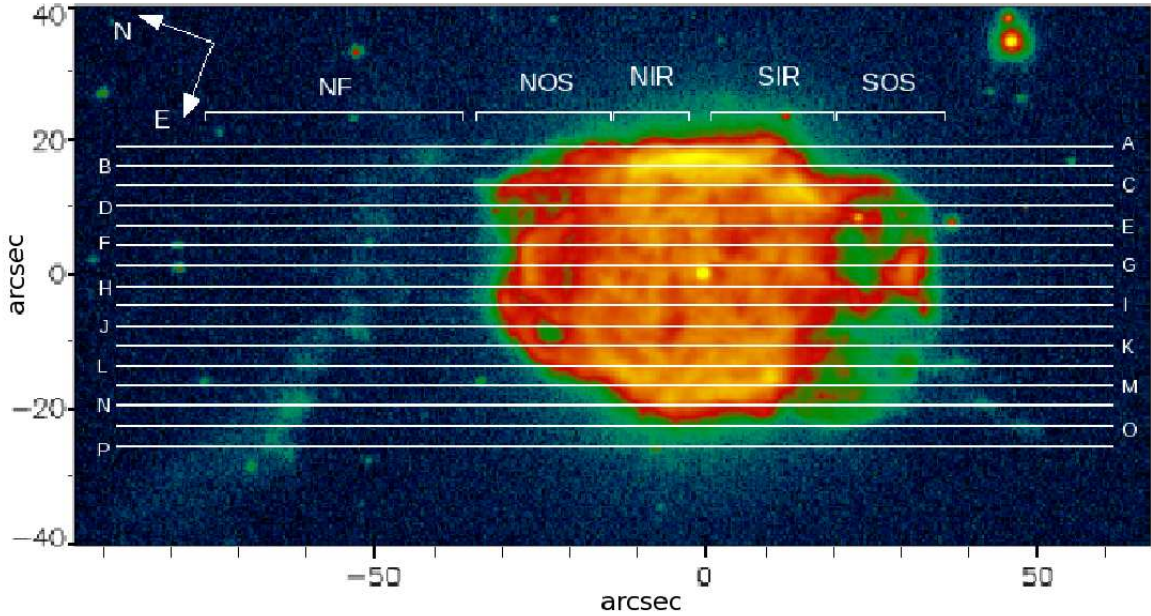


Figura 2.1: Imagem *NOT* de NGC 40 em $H\alpha$, e orientação do objeto no céu, sendo ‘N’ o norte e ‘E’ o leste. Ilustram-se os posicionamentos da fenda utilizada para espectroscopia e identificam-se algumas regiões na nebulosa — *north filaments*, *NF*; *north outer shell*, *NOS*; *north inner rim*, *NIR*; *south inner rim*, *SIR*; *south outer shell*, *SOS*.

à estrela central. O espaçamento entre cada uma das posições é de 3 arcsec . Note que, na direção do eixo menor da NP, as observações espectrais não cobrem inteiramente o objeto. As bordas brilhantes que vemos na Figura 2.1 determinam os limites das observações nesta direção, e correspondem às fendas A e P.

A largura da fenda longa é de $1,3 \text{ arcsec}$, a rede de difração utilizada (*grism #7*) possui $600 \text{ linhas mm}^{-1}$ e tem uma cobertura espectral de 3850 \AA a 6850 \AA . A dispersão recíproca, ou seja, número de \AA por *pixel* é, originalmente, de $1,5$. Por razões que serão descritas na Seção 2.2.2, essa característica foi alterada, de modo que os espectros utilizados possuem uma dispersão de $3,0 \text{ \AA pixel}^{-1}$.

Para 15 das 16 posições da fenda, os tempos de exposição foram de $3 \times 300 \text{ s}$. Para a fenda identificada pela letra B, na Figura 2.1, apenas uma exposição de 300 s foi obtida. O *seeing* da noite durante as exposições espectroscópicas foi de $\sim 1,3 \text{ arcsec}$.

2.2 Redução dos Dados

2.2.1 Redução da Imagem $H\alpha$

A utilização da imagem $H\alpha$ de NGC 40 neste trabalho é apenas ilustrativa e, portanto, o processo de redução aplicado a ela resumiu-se às operações básicas de subtração de *bias* e divisão por *flat-field*. O primeiro processo tem por objetivo eliminar contagens espúrias,

Tabela 2.1: Posicionamento das fendas longas, relativamente à estrela central de NGC 40.

Fenda	Posição		Tempo de Exposição (s)
	Norte (<i>arcsec</i>)	Leste (<i>arcsec</i>)	
A	+7,0	-18,2	3 × 300
B	+5,9	-15,4	1 × 300
C	+4,8	-12,6	3 × 300
D	+3,8	-9,8	3 × 300
E	+2,7	-7,0	3 × 300
F	+1,6	-4,2	3 × 300
G	+0,6	-1,4	3 × 300
H	-0,5	+1,4	3 × 300
I	-1,6	+4,1	3 × 300
J	-2,7	+6,9	3 × 300
K	-3,7	+9,7	3 × 300
L	-4,8	+12,5	3 × 300
M	-5,9	+15,3	3 × 300
N	-6,9	+18,1	3 × 300
O	-8,0	+20,9	3 × 300
P	-9,1	+23,7	3 × 300

provenientes do ruído eletrônico originados no próprio instrumento de observação. O segundo procedimento corrige efeitos artificiais da imagem que sejam provenientes da diferença de sensibilidade entre os *pixels* do detector.

2.2.2 Redução dos Espectros

A redução dos dados espectrais foi realizada através de procedimentos padrão, com a utilização de rotinas de redução do *Image Reduction Analysis Facility (IRAF)*, fornecido pela *Association of Universities for Research in Astronomy – AURA*, EUA). Estes procedimentos incluem as operações de *bias*, *flat-field*, correção dos *pixels* ruins, combinação dos 3 espectros de cada fenda, calibração em comprimento de onda (λ), subtração do fundo de céu, correção da extinção atmosférica e calibração de fluxo, segundo os manuais “*A User’s Guide to Reducing Slit Spectra with IRAF*” e “*A User’s Guide to CCD Reductions with IRAF*” (Massey *et al.* 1992, Massey 1997). Exposições de *bias*, *flat-field*, lâmpada de calibração e estrela padrão foram obtidas durante as observações e depois utilizadas nestes procedimentos de redução de dados.

As duas primeiras operações, cujos propósitos foram descritos na seção 2.2.1, foram realizadas através do programa *imarith (images.imutil)*.

Um detector pode conter *pixels* defeituosos, não sensíveis à radiação. Para contornar este problema realiza-se uma correção para eliminar os *pixels* ruins. Para efetuar esta correção nos dados deste trabalho criou-se uma máscara a partir da inspeção visual das exposições de *flat-field* e da imagem $H\alpha$. A correção propriamente dita foi feita utilizando

o programa *fixpix* (*proto*). Este programa usa os *pixels* não defeituosos mais próximos àqueles defeituosos para interpolar linearmente suas contagens, corrigindo, assim, as regiões não sensíveis do detector.

Os espectros de uma mesma fenda¹ foram combinados, com o objetivo de melhorar a razão sinal-ruído (*SNR*, do inglês *signal to noise ratio*) dos dados e eliminar os raios cósmicos. Para realizar este procedimento, primeiro escalonaram-se os espectros de uma dada fenda para, então, combiná-los através do programa *imcombine* (*images.immatch*).

Como não foi possível realizar este mesmo procedimento para o espectro da fenda B, já que não havia mais de uma observação nesta posição, outro método para a remoção dos raios cósmicos se fez necessário. O programa *crmedian* (*noao.imred.crutil*), que detecta raios cósmicos a partir de desvios de um certo *pixel* em relação à média dos vizinhos, foi utilizado para este objetivo.

Para a calibração em comprimento de onda utiliza-se o espectro de uma lâmpada padrão cujas linhas de emissão são previamente conhecidas. A partir deste espectro, obtém-se uma função de ajuste que correlaciona as posições dos *pixels*, na direção espectral, com seus valores reais em unidades físicas de λ . Neste trabalho, utilizou-se o espectro de uma lâmpada padrão de He-Ne.

Para que a função de ajuste fosse suficientemente precisa, realizou-se um agrupamento (“binagem”) dos *pixels* no eixo de dispersão dos espectros, de forma que 2 *pixels* vizinhos dessem origem a um único *pixel* cujo valor fosse igual a média dos 2 *pixels* originais. Os fluxos totais das linhas de emissão não foram alterados pela “binagem”. Esta operação foi necessária porque a qualidade do *CCD* usado nas observações é tal que ele foi capaz de resolver o filamento da lâmpada padrão, na observação desta. Conseqüentemente, tornou-se necessário diminuir a resolução espectral da lâmpada, e também aquela dos demais espectros. Os programas usados no procedimento de “binagem” e calibração em comprimento de onda foram: *blkavg* (*images.imgeom*), *identify*, *reidentify*, *fitcoords* e *transform* (*noao.twodspec.longslit*).

A massa de ar efetiva foi calculada pelo programa *setairmass* (*noao.twodspec.longslit*) e o fundo de céu foi subtraído com o programa *background* (*noao.twodspec.longslit*). Corrigiu-se a extinção atmosférica, em função de λ , com base no documento *Atmospheric Extinction at the Roque de los Muchachos Observatory, La Palma*, disponível no endereço eletrônico do Instituto de Astrofísica de Canárias².

Para calibrar os espectros em fluxo é necessário observar uma estrela padrão, cujo fluxo seja previamente conhecido. A partir desta observação, ajusta-se uma função que converta as contagens (*ADU*) em fluxos astrofísicos. Neste trabalho, a estrela padrão observada foi G191B2B (Massey *et al.* 1988). O programa *apall* (*noao.twodspec.apextract*)

¹A expressão de “mesma fenda” refere-se às observações com um mesmo posicionamento da fenda relativamente à nebulosa.

²http://www.ing.iac.es/Astronomy/observing/manuals/ps/tech_notes/tn031.pdf

foi usado para extrair o espectro bidimensional da estrela. Este espectro bidimensional foi, então, integrado, ao longo do intervalo de calibração, para se obter a função de ajuste e aplicá-la aos espectros da nebulosa, através dos programas *standard*, *sensfunc* e *calibrate* (*noao.twodspec.longslit*).

Em resumo, nesta dissertação utiliza-se dados de espectroscopia de fenda longa da nebulosa planetária NGC 40, obtidos por colaboradores em 2005. No âmbito deste trabalho coube reduzi-los, como descrito neste capítulo, e analisá-los.

Agora que os dados de NGC 40 estão prontos para serem usados para ciência, apresentaremos, no próximo capítulo, as ferramentas desenvolvidas para análise dos espectros, além de descrever a teoria que fundamenta os algoritmos que desenvolvemos.

Capítulo 3

Ferramentas de Análise dos Dados

3.1 Mapeamento das Linhas de Emissão

O mapeamento espectroscópico tem por objetivo construir uma imagem bidimensional (mapa) para cada linha de emissão de interesse (Monteiro *et al.* 2004). As imagens são obtidas do perfil de fluxo integrado espacialmente para cada fenda. Para uma dada linha de emissão, uma função gaussiana é ajustada, ponto a ponto ao longo da direção espacial, de modo a obter o perfil da fenda. Os perfis de todas as fendas são, então, combinados e interpolados, usando um algoritmo de convolução cúbica (Park & Schowengerdt 1983, Rifman & McKinnon 1974) para construir a imagem bidimensional da nebulosa correspondente à emissão naquela linha. Note que, através deste método, a estimativa do fluxo total do objeto é mais precisa do que quando estima-se o fluxo a partir da observação de apenas uma dada fenda. Isso ocorre porque o método de mapeamento espectroscópico integra o fluxo ao longo de uma superfície que se aproxima da totalidade do objeto enquanto que o fluxo integrado ao longo de somente uma fenda se restringe a uma zona muito mais limitada da nebulosa.

Os algoritmos que utilizamos para realizar o mapeamento espectroscópico de NGC 40 foram desenvolvidos pelo Dr. Hektor Monteiro e colaboradores, em *IDL (image data language)*. Este código nos foi fornecido pelo colaborador Dr. Hektor Monteiro.

O método foi aplicado anteriormente para as nebulosas planetárias NGC 3132 (Monteiro *et al.* 2002), NGC 6369 (Monteiro *et al.* 2004), Hubble 5 (Rice *et al.* 2004), Mz 1 (Monteiro *et al.* 2005) e NGC 2022 (Mateluna Perez *et al.* 2006). Estes trabalhos investigaram os fluxos totais e gradientes de poeira, densidade e temperatura nestas nebulosas. Por exemplo, através do mapa de densidade de Mz 1, Monteiro *et al.* (2005) encontraram indicativos da presença de um anel denso e de uma estrutura bipolar de densidade mais baixa. Com base neste mapa eles propuseram um modelo tridimensional de estrutura morfológica tipo “ampulheta”, com uma cintura cuja densidade decresce suavemente do equador para os pólos, para representar a distribuição do gás da nebulosa Mz 1. Similarmente, dedu-

ções da distribuição de densidade também foram obtidas por Monteiro *et al.* (2004) para NGC 6369, já que o mapa de densidade deste objeto evidenciou um decréscimo na região central, o qual não é compatível com estruturas fechadas e sim com morfologias como a proposta para Mz 1; tipo “ampulheta”.

No presente trabalho cada mapa tem dimensão de $160 \times 45 \text{ arcsec}^2$. Para evitar que os mapas contivessem informações espúrias, eles foram filtrados por uma máscara definida pela SNR da linha de emissão correspondente. Todos os *pixels* que apresentaram uma SNR abaixo de um certo patamar tiveram seus valores substituídos por 0 (zero). O valor de corte não foi o mesmo para todos os mapas. Para a maior parte deles adotamos um limite mínimo de $SNR=7$. Porém, para as linhas menos intensas, cortes alternativos tiveram que ser adotados, pois pouca informação sobreviveria ao corte de $SNR=7$. A Tabela 3.1 lista os mapas de linhas de emissão gerados e indica os fluxos totais observados, suas intensidades (ou seja, fluxos corrigidos de extinção, conforme descrito na seção 3.2.1) e os limites de corte em SNR . Os fluxos e intensidades estão normalizados na escala de $H\beta=100$.

A normalização dos mapas – cujos resultados estão na Tabela 3.1 – pode ser realizada de duas maneiras. A primeira consiste na normalização ponto a ponto, ou seja, o mapa de uma dada linha é dividido pelo mapa de $H\beta$ e multiplicado por 100. O valor médio da intensidade deste mapa é, então, a média dos valores dos *pixels* válidos do mapa. Este método, porém, pode gerar informações irreais. Isso ocorre para *pixels* onde o mapa de $H\beta$ tem valor muito baixo quando comparado com o *pixel* correspondente da linha em questão. Nestes casos, a divisão realizada por este valor muito baixo de $H\beta$ gera, artificialmente, um valor alto, não condizente com a informação real daquela linha. Desta forma, realizou-se a normalização para $H\beta=100$ de outro modo: as intensidades de todos os mapas foram integradas, o valor encontrado para o mapa de $H\beta$ (última linha da Tabela 3.1) foi igualado a 100 e as intensidades totais dos demais mapas foram assim escalonadas. Note que esta normalização foi realizada apenas para determinar os valores médios dos mapas. Lembrando que o objetivo aqui é a análise das distribuições bidimensionais das propriedades físico-químicas da nebulosa, justifica-se que, para este fim, os mapas espectroscópicos foram tratados sem quaisquer normalizações.

3.2 Método de Tratamento dos Mapas

As linhas de emissão de um objeto podem ser utilizadas para o cálculo de diversos parâmetros físicos e químicos. No entanto, antes que possamos utilizar estas linhas como diagnósticos de tais parâmetros, devemos corrigí-las do efeito de extinção. Para tal, é necessário determinar o coeficiente de extinção ($c_{H\beta}$) que pode ser calculado a partir das linhas da Série de Balmer.

Com base na comparação entre as intensidades de 2 linhas de um mesmo íon, emi-

tidas por diferentes níveis de excitação, mas com energias de excitação muito próximas, determina-se a densidade eletrônica (N_e). As linhas de emissão do [S II] em 6717 Å e 6731 Å são um exemplo de linhas de emissão cuja razão pode ser utilizada para determinar N_e . Dentro do intervalo de $\sim 0,42$ a $\sim 1,45$, a razão entre estas linhas tem forte dependência em relação a densidade eletrônica o que justifica sua utilização neste cálculo.

A temperatura eletrônica (T_e), por outro lado, pode ser estimada pela comparação das intensidades de linhas de um íon cujas energias de excitação são bem diferentes. Um exemplo de linhas cuja razão pode ser utilizada para determinar T_e é dado pelas emissões em 4363 Å, 4959 Å e 5007 Å, do [O III]. A partir da razão da soma das duas últimas pela primeira, pode-se calcular a temperatura eletrônica a partir da relação

$$\frac{j(4959) + j(5007)}{j(4363)} = \frac{7,9 \times e^{3,29 \times 10^4 / T}}{1 + 4,5 \times 10^{-4} n_e / T^{1/2}}, \quad (3.1)$$

onde $j(\lambda)$ é a emissividade em um dado λ . Esta relação é válida para o intervalo em que a razão entre as linhas de emissão tem valor entre ~ 40 e ~ 7.000 (Osterbrock & Ferland 2006).

Conhecendo-se N_e e T_e do objeto é possível, a partir de suas linhas de emissão, determinar também as abundâncias iônicas, a partir de

$$\frac{X_i}{H^+} = \frac{I(\lambda)}{I(H\beta)} \times \frac{j(H\beta)}{j(\lambda)}, \quad (3.2)$$

onde X_i/H^+ é a abundância do íon X_i em relação ao H^+ .

Quando trabalha-se com valores numéricos que correspondem a intensidades integradas pode-se, por exemplo, utilizar programas do *IRAF* para determinar esses parâmetros físicos e químicos. O programa *temden* do algoritmo *Nebular* (*stsdas.analysis*) resolve a equação de equilíbrio estatístico, que para cada nível de excitação i , é descrita por (Osterbrock & Ferland 2006):

$$\sum_{j \neq i} n_j N_e q_{ij} + \sum_{j > i} n_j A_{ji} = \sum_{j \neq i} n_i N_e q_{ij} + \sum_{j < i} n_i A_{ij} \quad (3.3)$$

onde n_j é a fração do íon que está no nível de excitação j , n_i é a fração do nível i , q_{ij} é o coeficiente da taxa de excitação eletrônica e A_{ij} é a probabilidade da transição radiativa. A solução da equação de equilíbrio fornece os valores de N_e e T_e . Esses parâmetros são dados de entrada para os cálculos das abundâncias iônicas que, no *IRAF*, são feitos pelo programa *ionic* (*stsdas.analysis.nebular*).

Utilizou-se o algoritmo *Nebular*, do *IRAF* para os cálculos das densidades e tempe-

Tabela 3.1: Fluxos e intensidades totais dos mapas espectroscópicos das linhas de emissão, normalizados para $H\beta=100$.

Identificação da Linha	λ (Å)	Fluxo	Intensidade	Corte em SNR
H10	3797	3,15	4,19	7,0
H9	3835	6,11	8,91	7,0
H8+He I	3888	14,36	18,64	7,0
H ϵ + [Ne III]+He I	3968	11,34	14,94	7,0
[S II]+[S II]	4069+76	0,63	0,78	4,0
H δ	4101	18,97	23,28	7,0
H γ	4340	38,81	45,07	7,0
He I	4388	0,06	0,06	2,5
He I	4471	1,74	1,97	7,0
Mg I	4563+71	0,13	0,14	3,0
[C III]+[C IV]	4647+58	0,14	0,14	4,0
He II	4686	0,01	0,01	2,0
[Ar IV]	4711	0,05	0,05	2,5
H β	4861	100,0	100,0	7,0
He I	4921	1,03	1,01	7,0
[O III]	4959	19,85	19,25	7,0
[O III]	5007	61,55	59,17	7,0
[N I]	5198+5200	0,44	0,40	5,0
[Cl III]	5517	0,12	0,10	4,0
[Cl III]	5537	0,56	0,43	5,0
[O I]	5577	0,78	1,08	5,0
[N II]	5755	3,11	2,46	7,0
He I	5876	13,61	10,49	7,0
[O I]	6300	3,33	2,43	7,0
[O I]	6363	0,87	0,63	7,0
[N II]	6548	113,48	79,73	7,0
H α	6563	399,34	279,43	7,0
[N II]	6584	341,44	238,58	7,0
He I	6678	3,11	2,12	7,0
[S II]	6717	12,41	8,53	7,0
[S II]	6731	16,96	11,60	7,0
F(H β) ($erg\ cm^{-2}\ s^{-1}$)	4861	1,52E-11	-	-

raturas eletrônicas e das abundâncias iônicas, para a fenda G, nas regiões indicadas na Figura 2.1. Os resultados obtidos foram posteriormente comparados com resultados obtidos dos mapas espectroscópicos, com a utilização das ferramentas de análises que foram por nós desenvolvidas para este fim, como discutiremos a seguir.

Note que os programas do algoritmo *Nebular* do *IRAF* não permitem a utilização de imagens como parâmetro de entrada nesses programas. Visando solucionar este problema, desenvolvemos algoritmos que operassem analogamente ao algoritmo *Nebular*, com os quais fosse possível analisar os mapas espectroscópicos que obtivemos para as linhas de emissão de NGC 40.

É importante destacar que a utilização do algoritmo *Nebular* do *IRAF* como base para o desenvolvimento do nosso código é essencial. O *IRAF* conta com um banco de dados de parâmetros atômicos que é constantemente atualizado. Como manter um banco de dados como esse não é trivial, construímos nossos algoritmos de maneira que eles tivessem acesso aos parâmetros atômicos da base de dados do *IRAF*. Desta maneira, garantimos a utilidade do nosso código no futuro, sem que tenhamos que nos preocupar com as possíveis atualizações dos dados atômicos.

Nosso código compõe-se de vários algoritmos. E esses algoritmos, por nós desenvolvidos foram escritos em *IDL*, permitindo assim o uso de imagens como parâmetros de entrada e saída. Esses algoritmos subdividem-se em 2 classes: o ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO e o ALGORITMO NEBULAR. Esses algoritmos são descritos nas próximas seções.

3.2.1 O ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO

O ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO é composto de 2 subrotinas; CBETA e REDCORR, e baseia-se no formalismo de Osterbrock & Ferland (2006). Essas duas subrotinas são brevemente descritas a seguir e são transcritas, na íntegra, no Apêndice A.

CBETA:

A subrotina CBETA gera o mapa de $c_{H\beta}$, a partir da relação

$$c_{H\beta} = \frac{\log[F(\lambda)/F(H\beta)]_{teo} - \log[F(\lambda)/F(H\beta)]_{obs}}{f(\lambda) - f(H\beta)}, \quad (3.4)$$

onde $[F(\lambda)/F(H\beta)]_{teo}$ é a razão teórica dos fluxos de outra linha da Série de Balmer relativamente a $H\beta$, $[F(\lambda)/F(H\beta)]_{obs}$ é a razão observada entre as intensidades dessas mesmas linhas e $f(\lambda) - f(H\beta)$ é a diferença entre os valores da função de extinção em λ e $H\beta$.

Neste trabalho foram utilizados os mapas das linhas $H\alpha$, $H\gamma$ e $H\delta$ para este cálculo. Através das razões dos mapas destas 3 linhas, relativamente à $H\beta$, geraram-se 3 mapas de $c_{H\beta}$ independentes. Fez-se a média desses mapas, ponderada pelos fluxos das linhas em

questão, obtendo-se o mapa $c_{H\beta}$ utilizado nas correções. A função de extinção escolhida foi a de Cardelli *et al.* (1989). O trabalho de O'Donnell (1994) faz uma revisão sobre a curva de extinção de Cardelli *et al.* (1989) e propõe ajustes a serem implementados a esta função de extinção. Esses ajustes foram considerados na função de extinção adotada. Quando utiliza-se esta curva de extinção, é necessário adotar um valor para o coeficiente de parametrização R_ν , definido por:

$$R_\nu = \frac{A_\nu}{E(B - V)}, \quad (3.5)$$

onde A_ν é a extinção absoluta para uma dada frequência ν , e $E(B - V)$ é o excesso de cor, entre as bandas B e V. O valor padrão para R_ν , no meio interestelar difuso, é 3,1 (Cardelli *et al.* 1989). Este foi o valor adotado neste trabalho.

A Figura 3.1 apresenta o mapa de $c_{H\beta}$ para NGC 40 cujo valor médio¹ é 0,44. A dispersão de $c_{H\beta}$, no mapa, é mostrada pelo histograma apresentado também na Figura 3.1. A dispersão observada sugere que a distribuição de poeira pode não ser uniforme no interior da nebulosa e/ou que os grãos tenham características diferentes em diferentes regiões de NGC 40. Este resultado também pode indicar a presença de gás neutro na nebulosa (Spitzer 1998, Monteiro *et al.* 2004).

Três zonas na borda da nebulosa apresentam $c_{H\beta}$ com valores significativamente mais altos do que as outras regiões. Essas zonas, de cor amarelada na Figura 3.1, localizam-se aproximadamente, em relação a estrela central, a (i) +20 *arcsec* na direção do eixo menor, (ii) -30 *arcsec* na direção do eixo menor e (iii) +35 *arcsec* na direção do eixo maior e -15 *arcsec* na direção do eixo menor. Já outras 2 zonas, localizadas também na borda da nebulosa, apresentam valores significativamente mais baixos. Essas zonas, têm cor escura na Figura 3.1, estão localizadas a (i) -20 *arcsec*, na direção do eixo menor e (ii) a +35 *arcsec* na direção do eixo maior e de 0 a +20 *arcsec* na direção do eixo menor. A presença desses dois cenários opostos dificulta uma interpretação direta do mapa de extinção.

Em comparação com a literatura, note que a região investigada por Clegg *et al.* (1983), localizada aproximadamente entre +15 e +20 *arcsec* ao longo do eixo menor e -10 e 0 *arcsec* ao longo do eixo menor da nebulosa, corresponde a uma região onde o valor de $c_{H\beta}$ resultante da nossa análise é superior à média. De fato, Clegg *et al.* (1983) encontraram $c_{H\beta} = 0,70$ para esta zona. Aller *et al.* (1972), investigando diversas regiões da nebulosa que, segundo os autores, são representativas da NP como um todo, encontraram $c_{H\beta} = 0,33$. Aller & Czyzak (1979) encontraram $c_{H\beta} = 0,65$ para uma região de 2×2 *arcsec*² “de baixa ionização” que, segundo Pottasch *et al.* (2003), provavelmente

¹Todas as médias de mapas deste trabalho foram tiradas apenas a partir dos *pixels* válidos, ou seja, sobre aqueles que sobreviveram ao corte em *SNR* e que, portanto, têm valor superior a 0 (zero).

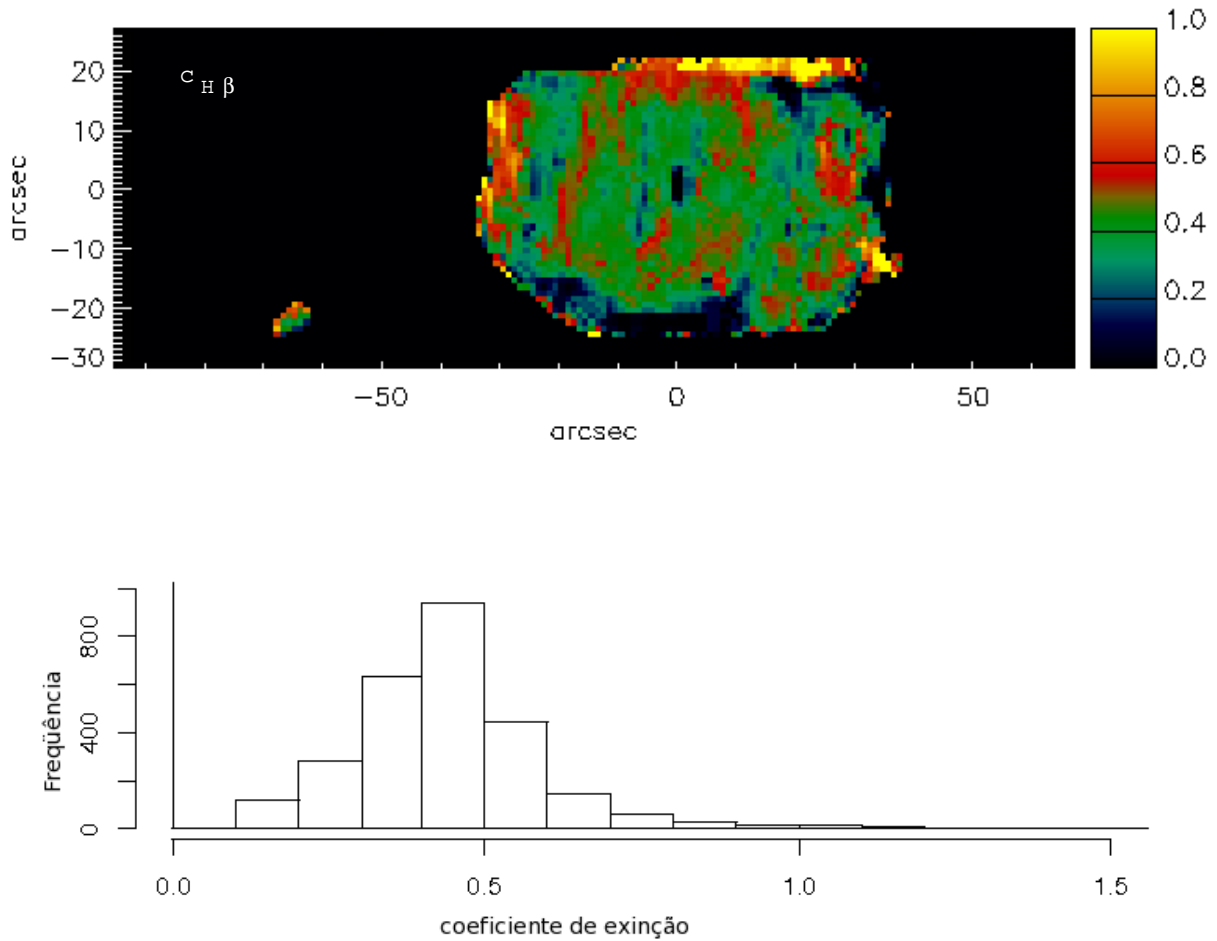


Figura 3.1: Acima: Mapa espectroscópico da variação de $c_{H\beta}$ em NGC 40. Abaixo: Histograma do mapa de $c_{H\beta}$ em NGC 40, sendo a ordenada a frequência de *pixels* que apresenta um dado valor de $c_{H\beta}$ (abscissa).

refere-se à mesma região investigada por Clegg *et al.* (1983). Finalmente, Pottasch *et al.* (2003) utilizando dados desses 3 trabalhos, encontraram $c_{H\beta} = 0,61$.

Desta comparação, vemos que nosso resultado representativo de toda a nebulosa (valor médio; 0,44) concorda relativamente bem com Aller *et al.* (1972). Nossos valores zona a zona também estão de acordo com aqueles obtidos por Aller & Czyzak (1979) e Clegg *et al.* (1983), na borda superior do eixo maior, sugerindo mais alta extinção nesta região.

REDCORR:

Com a utilização do mapa de $c_{H\beta}$, os mapas das linhas de emissão são corrigidos do efeito de avermelhamento, fornecendo então os mapas das intensidades, $I(\lambda)$. Esta correção é feita através da subrotina REDCORR, do ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO. Esta subrotina corrige o mapa, *pixel a pixel*, através da relação

$$I(\lambda) = F(\lambda) \times 10^{-c_{H\beta}(f(\lambda)-f(H\beta))}, \quad (3.6)$$

onde $F(\lambda)$ é o mapa observado da linha de emissão de comprimento de onda λ , $c_{H\beta}$ é o mapa de $c_{H\beta}$ gerado pela subrotina CBETA e $f(\lambda)-f(H\beta)$ é a diferença entre os valores da função de extinção em λ e $H\beta$ (Osterbrock & Ferland 2006). Nesta subrotina, há a opção de escolha de qual a função de extinção a ser utilizada. As opções disponíveis são as funções de Cardelli *et al.* (1989) (com os coeficientes revisados por O'Donnell (1994)) e de Seaton (1979).

Após corrigidos do efeito de extinção, os mapas estão prontos para serem analisados e usados como parâmetros de entrada no ALGORITMO NEBULAR, por nós desenvolvido e, que tem por objetivo determinar os mapas de N_e , T_e e abundâncias químicas.

3.2.2 ALGORITMO NEBULAR

O ALGORITMO NEBULAR é composto de 10 subrotinas. O objetivo deste programa é determinar os mapas de N_e , T_e , abundâncias químicas; iônicas e totais. As subrotinas MAIN, INPUT, PARI, PARI, SOLVE, TEMDEN e OUTPUT foram adaptadas das subrotinas de mesmo nome escritas por De Robertis *et al.* (1987), enquanto que as subrotinas IONIC, PARI, PARI e ABUND foram baseadas nos programas *ionic* e *abund*, do *IRAF*. Um fluxograma que ilustra o funcionamento deste algoritmo é apresentado na Figura 3.2. O fluxograma é dividido em 3 partes, de maneira que cada uma delas descreve o funcionamento do programa para um determinado tipo de cálculo: N_e e T_e , abundâncias iônicas ou abundâncias totais, respectivamente. O objetivo de cada uma das subrotinas é descrito, resumidamente, a seguir e o Apêndice B contém, na íntegra, cada uma delas.

MAIN:

A rotina MAIN é a rotina central do programa (Figura 3.2). Ela fornece, na tela, as opções de cálculo disponíveis no algoritmo e pede ao usuário que escolha as opções desejadas. Primeiramente, o usuário deve escolher entre (i) condições físicas, (ii) abundâncias iônicas e (iii) abundâncias totais.

A primeira alternativa (i) destina-se ao cálculo de N_e ou T_e , baseado na razão das linhas de um determinado íon. Para o cálculo de N_e o usuário tem a opção de trabalhar com os seguintes íons: N^0 , O^+ , Ne^{3+} , S^+ , Cl^{++} e Ar^{3+} . E para o cálculo de T_e os íons à disposição do usuário são: N^+ , O^0 , O^+ , O^{++} , Ne^{++} , Ne^{4+} , S^+ , S^{++} , Cl^{3+} , Ar^{++} , Ar^{3+} e Ar^{4+} .

A segunda alternativa (ii) calcula abundâncias iônicas e o usuário deve escolher qual o íon cuja abundância deve ser determinada. As opções disponíveis para este cálculo são:

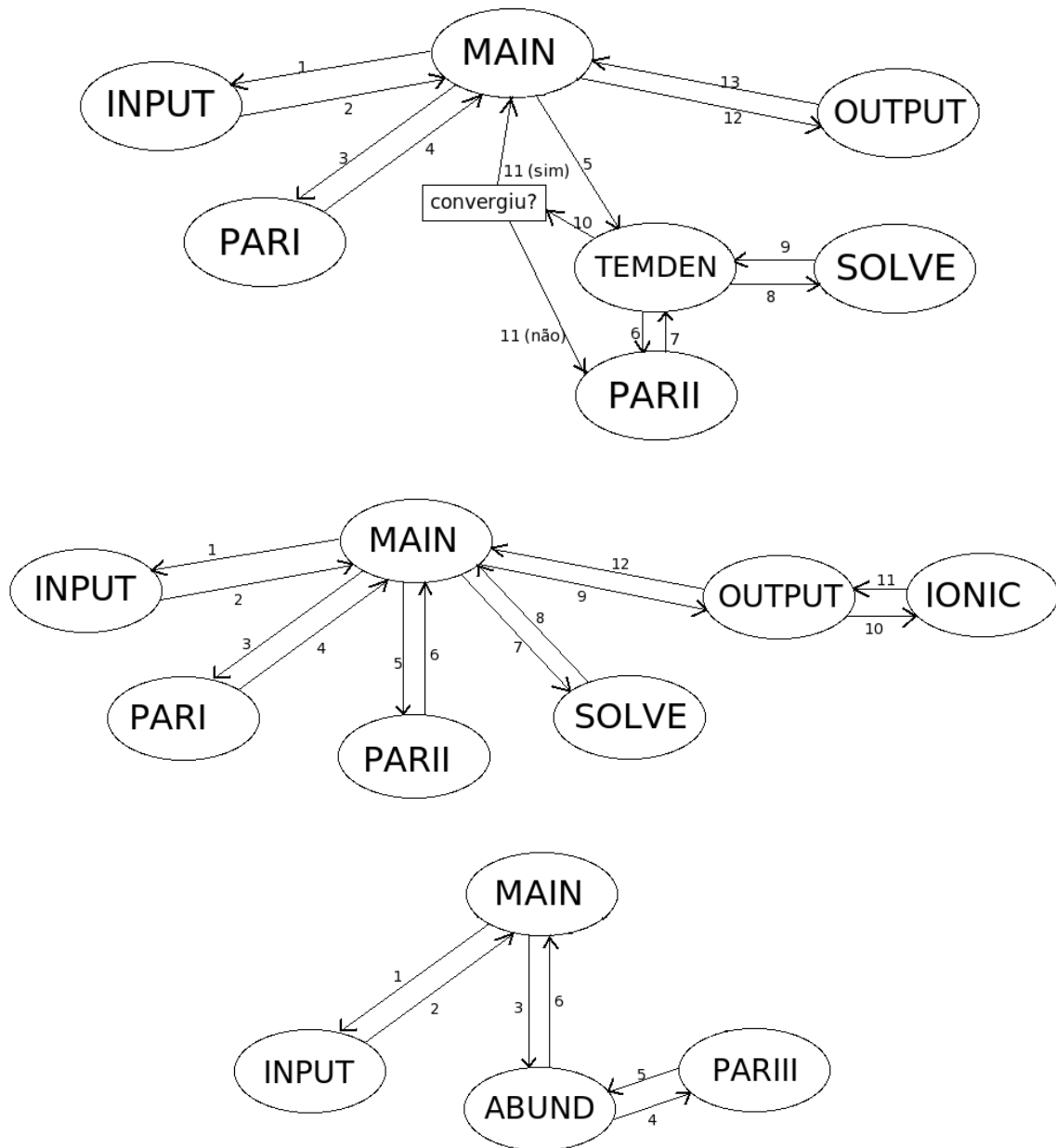


Figura 3.2: Fluxograma do ALGORITMO NEBULAR. Acima, o funcionamento do programa para o cálculo de N_e ou T_e , no meio o funcionamento do programa para o cálculo das abundâncias iônicas e, abaixo, o funcionamento do programa para o cálculo das abundâncias totais.

N^0 , N^+ , O^0 , O^+ , O^{++} , Ne^{++} , Ne^{3+} , Ne^{4+} , S^+ , S^{++} , Cl^+ , Cl^{++} , Cl^{3+} , Ar^{++} , Ar^{3+} , Ar^{4+} , K^{3+} e K^{4+} .

Finalmente, a terceira alternativa (iii), que calcula as abundâncias químicas totais, o faz para os seguintes elementos: He, N, O, Ne, Ar e S.

As abundâncias de He^+ e He^{++} também estão disponíveis no programa, mas elas são calculadas quando o usuário escolhe a opção de cálculo da abundância total de He. Neste caso, o programa fornece, como parâmetros de saída, os mapas de abundância tanto de He, quanto de He^+ e He^{++} .

Feitas essas escolhas, a subrotina MAIN chama as subrotinas necessárias para a operação a ser feita.

INPUT:

A subrotina INPUT tem como objetivo principal ler os mapas espectroscópicos que serão necessários no cálculo. As primeiras leituras são dos mapas de N_e e T_e . Para o caso da análise de NGC 40, configurou-se a subrotina de forma a utilizar $N_e[S\ II]$ e $T_e[N\ II]$. A subrotina procura por esses mapas no diretório em que o usuário está trabalhando. Caso os mapas existam, tem-se a opção de utilizar ambos, apenas um deles ou nenhum deles. Se o usuário escolher não usar algum destes mapas, ou o(s) mapa(s) não existir(em), o(s) valor(es) constante(s) de N_e e/ou T_e deve(m) ser fornecido(s).

Em seguida a subrotina INPUT lê os mapas das linhas de emissão (ou o mapa da razão entre linhas de emissão). As Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 apresentam, respectivamente, os mapas que são lidos para os cálculos de N_e , T_e e abundâncias iônicas. Além dos mapas listados, o mapa de N_e (caso exista) também é lido para o cálculo de T_e e vice-versa. Na determinação das abundâncias iônicas tanto o mapa de T_e quanto o mapa de N_e são lidos. A leitura dos mapas para os cálculos das abundâncias totais não é realizada nesta subrotina e sim na subrotina ABUND.

Tabela 3.2: Parâmetros (mapas) de entrada para o cálculo de N_e .

Íon	Mapa de Entrada
N^0	I(5198 Å) / I(5200 Å)
O^+	I(3726 Å) / I(3729 Å)
Ne^{3+}	I(2423 Å) / I(2425 Å)
S^+	I(6717 Å) / I(6731 Å)
Cl^{++}	I(5517 Å) / I(5537 Å)
Ar^{3+}	I(4711 Å) / I(4740 Å)

Tabela 3.3: Parâmetros (mapas) de entrada para o cálculo de T_e .

Íon	Mapas de Entrada
N ⁺	I(6548+84 Å) / I(5755 Å)
O ⁰	I(6300+63 Å) / I(5577 Å)
O ⁺	I(3727 Å) / I(7325 Å)
O ⁺⁺	I(4959+5007 Å) / I(4363 Å)
Ne ⁺⁺	I(3869+3969 Å) / I(3342 Å)
Ne ⁴⁺	I(3426+3346 Å) / I(2975 Å)
S ⁺	I(6717+31 Å) / I(4069+76 Å)
S ⁺⁺	I(9069+9532 Å) / I(6312 Å)
Cl ³⁺	I(7530+8045 Å) / I(5323 Å)
Ar ⁺⁺	I(7136+7751 Å) / I(5192 Å)
Ar ³⁺	I(4711+41 Å) / I(2854+68 Å)
Ar ⁴⁺	I(6435+7006 Å) / I(4626 Å)

Tabela 3.4: Parâmetros (mapas) de entrada para o cálculo de abundâncias iônicas.

Íon	Mapas de Entrada
He ⁺	I(4471 Å) e/ou I(5876 Å) e/ou I(6678 Å)
He ⁺⁺	I(4686 Å)
N ⁰	I(5198 Å) e/ou I(5200 Å)
N ⁺	I(5755 Å) e/ou I(6548 Å) e/ou I(6584 Å)
O ⁰	I(5577 Å) e/ou I(6300 Å) e/ou I(6363 Å)
O ⁺	I(3727 Å) e/ou I(3729 Å)
O ⁺⁺	I(4363 Å) e/ou I(4959 Å) e/ou I(5007 Å)
Ne ⁺⁺	I(3342 Å) e/ou I(3869 Å) e/ou I(3969 Å)
Ne ³⁺	I(2423 Å) e/ou I(2425 Å)
Ne ⁴⁺	I(2975 Å) e/ou I(3346 Å) e/ou I(3426 Å)
S ⁺	I(4069 Å) e/ou I(4076 Å) e/ou I(6717 Å) e/ou I(6731 Å)
S ⁺⁺	I(6312 Å) e/ou I(9069 Å) e/ou I(9532 Å)
Cl ⁺⁺	I(5517 Å) e/ou I(5537 Å)
Cl ³⁺	I(5323 Å) e/ou I(7530 Å) e/ou I(8045 Å)
Ar ⁺⁺	I(5192 Å) e/ou I(7136 Å) e/ou I(7751 Å)
Ar ³⁺	I(4711 Å)
Ar ⁴⁺	I(4626 Å) e/ou I(6535 Å) e/ou I(7006 Å)
K ³⁺	I(6102 Å)
K ⁴⁺	I(4123 Å)

PARI e PARII:

Tanto a subrotina PARI quanto a subrotina PARII têm o objetivo de fornecer os dados atômicos para as subrotinas que realizam os cálculos. Esses dados são aqueles do arquivo do *IRAF*, armazenados no diretório */iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/*.

Os dados atômicos que independem da temperatura eletrônica são fornecidos pela subrotina PARI. Esses dados são:

- diferença de energia entre os níveis de excitação e o nível fundamental,
- peso estatístico de cada nível de excitação,
- probabilidades das transições radiativas.

As forças de colisão são dados atômicos que dependem da temperatura eletrônica e precisam ser determinadas iterativamente quando T_e ainda não está determinada. Este dado atômico é fornecido pela subrotina PARI.

SOLVE:

A subrotina SOLVE calcula as densidades críticas, além das populações dos níveis de excitação e emissividades, em função de N_e e T_e . Para as opções de cálculo de densidade ou temperatura, essa subrotina trabalha iterativamente com as subrotinas PARI e TEMDEN. Nos cálculos das abundâncias, N_e e T_e são parâmetros de entrada e, por isso, não há necessidade de iteração. Para esses casos, os parâmetros determinados por SOLVE são calculados diretamente.

TEMDEN:

A subrotina TEMDEN trabalha iterativamente com SOLVE e PARI. Ela tem o objetivo de realizar um teste de convergência que determinará se o processo iterativo continua ou se o resultado obtido já é satisfatório. Esta convergência não demora mais do que poucos minutos.

Quando N_e e T_e são fornecidos, como dados de entrada, essa subrotina não é acessada.

OUTPUT:

O principal objetivo da subrotina OUTPUT é guardar e imprimir, na tela, os resultados obtidos. Porém, o algoritmo foi construído de maneira que também ficou a cargo desta subrotina chamar a subrotina IONIC, para o cálculo das abundâncias iônicas.

IONIC:

Esta subrotina determina os mapas de abundâncias iônicas. A relação que calcula as abundâncias é a mesma da rotina *ionic*, do *IRAF* (De Robertis *et al.* 1987), apresentada na equação 3.2. A quantidade $j(\lambda)$ é determinada na solução da equação de equilíbrio estatístico em SOLVE e $j(H\beta)$ é calculada a partir da relação dada por Aller (1984):

$$j(H\beta) = \frac{1,387 \times 10^{-25}}{(T_e \times 10^{-4})^{0,983} \times 10^{0,0424/T_e \times 10^{-4}}}, \quad (3.7)$$

PARIII:

Para determinar as abundâncias iônicas do He é necessário fornecer os coeficientes efetivos de recombinação do He. Esses dados atômicos não estão disponíveis no arquivo do *IRAF* e, portanto, não são fornecidos nem por PARI, nem por PARII. A subrotina PARIII funciona como uma base de dados para estes coeficientes, que foram retirados de Benjamin *et al.* (1999).

ABUND:

Finalmente, o cálculo das abundâncias químicas totais dos diversos elementos é realizado pela subrotina ABUND. Este cálculo baseia-se no formalismo dos fatores de correção de ionização (*ICF's*, do inglês *ionization correction factors*).

A abundância química total de um dado elemento é definida pela soma das abundâncias iônicas de todos os graus de ionização deste elemento. Como não é trivial obter informação sobre todos esses graus de ionização, o formalismo dos *ICF's* realiza uma aproximação, onde as abundâncias iônicas calculadas e somadas são multiplicadas por um fator que dá conta das espécies não observadas.

Os *ICF's* utilizados em ABUND foram retirados de Kingsburgh & Barlow (1994), para a situação na qual somente dados espectroscópicos ópticos estão disponíveis. Esses fatores de correção são relações baseadas (i) na similaridade entre os potenciais de ionização entre um dado íon não observado e outro observado, e (ii) nos resultados de 10 modelos de fotoionização detalhados de nebulosas planetárias, que levam em consideração processos físicos como o efeito de troca de cargas e a recombinação dieletrônica. Esses *ICF's* e as equações que calculam as abundâncias químicas totais correspondentes são mostrados a seguir:

Oxigênio:

$$ICF(O) = \left(\frac{He^+ + He^{2+}}{He^+} \right)^{2/3} \quad (3.8)$$

$$\frac{O}{H} = ICF(O) \times \frac{O^+ + O^{2+}}{H^+}, \quad (3.9)$$

Nitrogênio:

$$ICF(N) = \frac{O}{O^+} \quad (3.10)$$

$$\frac{N}{H} = ICF(N) \times \frac{N^+}{H^+}, \quad (3.11)$$

Neônio:

$$ICF(Ne) = \frac{O}{O^{2+}} \quad (3.12)$$

$$\frac{Ne}{H} = ICF(Ne) \times \frac{Ne^{2+}}{H^+}, \quad (3.13)$$

Argônio:

$$ICF(Ar) = \frac{Ne}{Ne^{2+}} \quad (3.14)$$

$$\frac{Ar}{H} = ICF(Ar) \times \frac{Ar^{3+}}{H^+}, \quad (3.15)$$

Enxofre:

$$ICF(S) = [1 - (1 - \frac{O^+}{O})^3]^{-1/3} \quad (3.16)$$

$$\frac{S}{H} = ICF(S) \times \frac{(S^+ + S^{2+})}{H^+} \quad (3.17)$$

Todos os mapas de entrada necessários para os cálculos das abundâncias totais são mapas de abundâncias de outros elementos/íons. A Tabela 3.5 apresenta, para cada elemento cuja abundância total pode ser calculada pela subrotina ABUND, quais são os mapas de abundância que devem ser lidos como dados de entrada, pelo ALGORITMO NEBULAR.

Tabela 3.5: Parâmetros de entrada (mapas) para o cálculo de abundâncias totais.

Elemento	Mapas de Entrada
He	He^+, He^{++}
N	O, O^+, N^+
O	$O^+, O^{++}, He^+, He^{++}$
Ne	O, O^{++}, Ne^{++}
S	O, O^+, S^+, S^{++}
Ar	Ne, Ne^{++}, Ar^{3+}

3.2.3 Testes dos Nossos Algoritmos

Esta seção apresenta os testes (*benchmarks*) dos algoritmos desenvolvidos. A realização destes testes é independente dos dados espectroscópicos de NGC 40. Desta forma, os valores utilizados como entrada nos testes a seguir são arbitrários.

Os testes das subrotinas do ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO (CBETA e REDCORR) são mostrados separadamente, já que elas funcionam independentemente uma

Tabela 3.6: Razões teóricas das linhas da Série de Balmer

T_e (K)	5.000			10.000			20.0000		
N_e (cm^{-3})	10^2	10^4	10^6	10^2	10^4	10^6	10^2	10^4	10^6
H α /H β	3,041	3,001	2,918	2,863	2,847	2,806	2,747	2,739	2,725
H γ /H β	0,458	0,460	0,465	0,468	0,469	0,471	0,475	0,476	0,476
H δ /H β	0,251	0,253	0,258	0,259	0,260	0,262	0,264	0,264	0,266

Tabela 3.7: Valor da função de extinção para a Série de Balmer

Linha de emissão	$f(\lambda)$
H α	0,818
H β	1,164
H γ	1,346
H δ	1,431

da outra. Para o ALGORITMO NEBULAR, cujas subrotinas trabalham iterativamente, os testes não foram separados por subrotina. Estes testes foram realizados de maneira a mostrar que as quantidades calculadas pelo conjunto das subrotinas que fazem parte do ALGORITMO NEBULAR são consistentes com os resultados dados pelo *IRAF*.

Subrotina CBETA:

Segundo a equação 3.4, é necessário fornecer a razão teórica de H α , H δ e H γ em relação à H β para obter $c_{H\beta}$. Esta razão teórica é dependente da temperatura e densidade eletrônicas. A Tabela 3.6 mostra a variação das três razões acima em função dessas quantidades (Osterbrock & Ferland 2006).

Outra quantidade necessária para o cálculo de $c_{H\beta}$ é o valor da função de extinção para cada uma das linhas da Série de Balmer utilizadas no cálculo. Estes valores, considerando $R_\nu = 3,1$, foram retirados de Osterbrock & Ferland (2006) e são apresentados na Tabela 3.7. O valor de H δ não é dado por Osterbrock & Ferland (2006), de maneira que o valor apresentado na tabela foi interpolado a partir de linhas de comprimentos de onda próximos.

Com base nas Tabelas 3.6 e 3.7 e na equação 3.4 determina-se $c_{H\beta}$ com cada uma das razões de linhas da Série de Balmer. A Tabela 3.8 compara os valores de $c_{H\beta}$ obtidos a partir da aplicação da equação 3.4 ($c_{H\beta eq.}$) com aqueles dados pela nossa subrotina CBETA ($c_{H\beta cb}$). Foram testadas diferentes intensidades observadas das linhas da Série de Balmer, sempre adotando $T_e = 10.000 K$ e $N_e = 100 cm^{-3}$.

Este teste mostra o bom funcionamento da subrotina CBETA, já que todos os resultados calculados por esta subrotina são os mesmos encontrados a partir da equação 3.4.

Tabela 3.8: Teste dos resultados de $c_{H\beta}$

Razão	Fluxo	$c_{H\beta eq.}$	$c_{H\beta c\beta}$
H α /H β	3,46	0,24	0,24
H α /H β	5,00	0,70	0,70
H α /H β	10,0	1,57	1,57
H γ /H β	0,40	0,37	0,37
H γ /H β	0,25	1,50	1,50
H γ /H β	0,10	3,68	3,68
H δ /H β	0,25	0,06	0,06
H δ /H β	0,15	0,89	0,89
H δ /H β	0,05	2,68	2,68

Subrotina REDCORR:

Nesta seção é apresentado o teste da subrotina REDCORR. O programa *redcorr*, do *IRAF* (*stdas.analysis.nebular*), foi usado para obter resultados da correção do efeito de extinção de fluxos observados. Estes resultados (I_{IRAF}) serviram de base comparativa para o teste. Os mesmos dados de entrada usados no *redcorr*, do *IRAF*, foram fornecidos ao ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO, de maneira a testar a qualidade de seu funcionamento, a partir dos resultados de saída ($I_{redcorr}$), que foram colocados frente a frente com aqueles obtidos pelo *redcorr*, do *IRAF*.

Nos cálculos realizados com o ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO adotou-se a curva de extinção de Cardelli *et al.* (1989), com seus coeficientes originais e $R_\nu = 3,1$. Os cálculos realizados através do *IRAF* também foram realizados com a curva de extinção de Cardelli *et al.* (1989) e, no *IRAF*, esta opção está atrelada aos seus coeficientes originais e ao valor de $R_\nu = 3,1$.

A Tabela 3.9 apresenta este teste para 4 comprimentos de onda selecionados de maneira que esses fossem representativos do intervalo espectral dos dados espectrais deste trabalho. Para cada linha, atribuíram-se 2 diferentes valores tanto para seu fluxo quanto para $c_{H\beta}$. A primeira coluna identifica a linha de emissão que está sendo comparada, a segunda coluna lista o fluxo a ser corrigido, a terceira coluna mostra o valor de $c_{H\beta}$ adotado para a correção. A quarta e quinta colunas – I_{IRAF} e $I_{redcorr}$ (i) – apresentam os resultados a serem comparados. A última coluna, $I_{redcorr}$ (ii), será discutida a seguir.

Como mostrado nas Tabelas 3.8 e 3.9, o ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO reproduz bem os resultados esperados – ou seja, aqueles obtidos a partir das equações teóricas (Osterbrock & Ferland 2006) e programas do *IRAF*. É possível notar que a determinação de $c_{H\beta}$ é exata, quando comparada ao cálculo a partir da equação 3.4. Por outro lado, existem diferenças nas correções de extinção, realizadas pela subrotina

Tabela 3.9: Teste dos resultados da correção de extinção

Linha	Fluxo	$c_{H\beta}$	I_{IRAF}	$I_{redcorr} (i)$	$I_{redcorr} (ii)$
H γ 4101	14,7	0,26	16,9	17,3	16,9
H γ 4101	16,8	0,43	21,1	21,9	21,1
[O III] 5007	120,8	0,50	115,7	114,8	115,7
[O III] 5007	1220,0	0,33	1185,5	1179,9	1185,4
[N II] 5755	2,2	1,20	1,3	1,2	1,3
[N II] 5755	3,2	0,19	3,0	2,9	3,0
[S II] 6731	20,2	0,38	15,3	14,6	15,3
[S II] 6731	17,8	0,95	8,8	7,8	8,8

Os fluxos e intensidades são mostrados na escala de $H\beta = 100$.

REDCORR, em comparação com o programa *redcorr*, do *IRAF*. Para 5 das 8 correções testadas, a diferença entre os resultados dos 2 programas foi menor do que 4%. Para os outros 3 testes, as diferenças foram de $\sim 8\%$, $\sim 5\%$ e $\sim 13\%$.

Estas diferenças têm origem na equação 3.6. A correção realizada pelo *IRAF* não é feita exatamente por esta equação, mas sim pela relação

$$I(\lambda) = F(\lambda) \times 10^{-c_{H\beta} \frac{f(\lambda) - f(H\beta)}{f(H\beta)}}. \quad (3.18)$$

Realizando esta modificação no ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO passamos a obter os mesmos resultados que o *IRAF*, conforme mostrado na quarta (I_{IRAF}) e sexta ($I_{redcorr} (ii)$) colunas da Tabela 3.9. Esta modificação foi realizada a posteriori em nosso programa, de maneira que as análises apresentadas neste trabalho estão sujeitas a diferenças análogas às observadas entre as colunas 4 e 5 da Tabela 3.9.

Note que o teste apresentado na Tabela 3.9 foi realizado considerando os coeficientes originais de Cardelli *et al.* (1989). Porém, o ALGORITMO CORREÇÃO DE EXTINÇÃO foi construído de maneira a usar os coeficientes de O'Donnell (1994) que, conforme mostrado pelos autores, têm um melhor ajuste em relação aos dados observacionais.

ALGORITMO NEBULAR:

Como as subrotinas do ALGORITMO NEBULAR trabalham iterativamente, os testes relativos a este programa não serão subdivididos por subrotinas. Estes testes referem-se às diferentes quantidades calculadas, ou seja, serão testados os resultados das densidades e temperaturas eletrônicas, populações dos níveis atômicos, densidades críticas, comprimentos de onda das transições atômicas, emissividades volumétricas e abundâncias iônicas, calculados pelo ALGORITMO NEBULAR.

A Tabela 3.10 apresenta os resultados comparativos dos cálculos de T_e e N_e determinados com o programa *temden* (*stsdas.analysis.nebular*), do *IRAF* (Resultado_{IRAF}) e

aqueles calculados pelo algoritmo desenvolvido nesta dissertação (Resultado_{Nebular}). Nesta tabela, a primeira coluna identifica a quantidade calculada, a segunda coluna indica a densidade ou temperatura eletrônica fornecida de entrada, a terceira coluna mostra o valor da razão entre as linhas do íon em questão e as duas últimas colunas comparam os resultados obtidos. Note que as diferenças entre os parâmetros físicos (T_e e N_e) obtidos de uma ou de outra forma são sempre menores do que 1%.

Tabela 3.10: Teste dos resultados do cálculo de T_e e N_e

Cálculo	N_e ou T_e de entrada	Razão	Resultado _{IRAF}	Resultado _{Nebular}
T_e [N II]	$N_e = 1.500 \text{ cm}^{-3}$	1000,00	5.075,2 K	5.067,3 K
T_e [N II]	$N_e = 2.500 \text{ cm}^{-3}$	102,67	9.399,2 K	9.397,2 K
T_e [N II]	$N_e = 4.000 \text{ cm}^{-3}$	70,00	10.802,7 K	10.809,8 K
T_e [O III]	$N_e = 1.000 \text{ cm}^{-3}$	7000,00	4.838,7 K	4.843,2 K
T_e [O III]	$N_e = 3.000 \text{ cm}^{-3}$	77,34	14.223,0 K	14.222,5 K
T_e [O III]	$N_e = 6.000 \text{ cm}^{-3}$	301,76	8.926,1 K	8.926,8 K
N_e [S II]	$T_e = 7.500 \text{ K}$	0,74	1.655,3 cm^{-3}	1654,9 cm^{-3}
N_e [S II]	$T_e = 10.000 \text{ K}$	1,30	120,7 cm^{-3}	120,9 cm^{-3}
N_e [S II]	$T_e = 13.500 \text{ K}$	0,48	20.806,5 cm^{-3}	20.837,6 cm^{-3}

Os testes entre os resultados de população dos níveis, densidade crítica, comprimento de onda da transição e emissividade volumétrica são mostrados nas Figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7, respectivamente. Nestas figuras, à esquerda são apresentados os resultados obtidos através do ALGORITMO NEBULAR e à direita aqueles obtidos a partir do *IRAF*. As formatações dos resultados de saída são análogas, de maneira que na parte superior são apresentados os resultados das populações dos níveis e densidades críticas e, na parte inferior são mostrados os resultados das emissividades e comprimentos de onda para cada transição. Os parâmetros de entrada para gerar estes testes estão listados na Tabela 3.11. Note que os comprimentos de onda das transições dadas pelo ALGORITMO NEBULAR são mostrados em microns para os casos em que λ é maior que 100.000 Å. Novamente a correspondência entre os resultados dados pelo *IRAF* e pelo ALGORITMO NEBULAR é excelentes e poucos são os casos onde a diferença entre os resultados é superior à 1%, e mesmo nestes casos ela é próxima à 1%.

Tabela 3.11: Parâmetros de entrada das Figuras 3.2 a 3.5

Figura	Íon	N_e (cm^{-3})	T_e (K)
Figura 3.2	N ⁺	1.200	6.500
Figura 3.3	O ⁰	2.000	8.500
Figura 3.4	O ⁺⁺	4.500	13.500
Figura 3.5	S ⁺	1.500	12.000
Figura 3.6	Cl ⁺⁺	4.000	8.000

```

IRAF
# Level Populations - Critical Densities
Level 1: 1,2E-1
Level 2: 3,712E-1      4,026E1
Level 3: 5,040E-1      2,568E2
Level 4: 3,422E-4      6,526E4
Level 5: 2,651E-9      9,355E6
Level 6: 3,08E-12      7,152E9

2039114,3 # Wavelength
(2-->1) # Upper->Lower Level
6,239E-24 # Volume Emissivity

763376,26 1220165,4
(3-->1) (3-->2)
1,059E-29 5,060E-23

6527,10 6548,06 6583,39
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
4,730E-25 7,958E-22 2,347E-21

3058,27 3062,86 3070,57 5754,57
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
INDEF 4,514E-25 2,001E-27 8,924E-24

```

```

Algoritmo Nebular

Nivel Pop. Niveis (MED) Dens. Crit. (/cm2) (MED)
1 0.12444107
2 0.37123168 40.246067
3 0.50398509 256.67753
4 0.00034215181 65279.587
5 2.6515760e-09 9349800.6

Pressione 0+ENTER para continuar
: 0

203.91142 # Lambda
(2-->1) # Nivel Maior --> Menor
6.2385136e-24 # Emissividade Volumetrica

76.337624 122.01654
(3-->1) (3-->2)
1.0590346e-29 5.0598544e-23

6527.0999 6548.0599 6583.3899
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
4.7293602e-25 7.9570879e-22 2.3470426e-21

3058.2695 3062.8632 3070.5710 5754.5710
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
0.0000000 4.5143411e-25 2.0013374e-27 8.9245084e-24

```

Figura 3.3: Teste comparativo (N^+): ALGORITMO NEBULAR *versus* IRAF.

IRAF

```
# Level Populations - Critical Densities
Level 1: 9.2E-1
Level 2: 4.140E-2      2.336E4
Level 3: 3.636E-2      3.430E3
Level 4: 4.399E-5      1.705E6
Level 5: 2.405E-9      9.875E7

631501.70 # Wavelength
(2-->1) # Upper->Lower Level
5.802E-23 # Volume Emissivity

441637.40 1468916.3
(3-->1) (3-->2)
1.096E-28 4.303E-24

6300.32 6363.81 6391.50
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
3.919E-22 1.252E-22 5.879E-26

2958.37 2972.29 2978.32 5577.19
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
1.954E-27 6.060E-25 INDEF 5.397E-24
```

Algoritmo Nebular

```
Nivel Pop. Niveis (MED) Dens. Crit. (/cm2) (MED)
1 0.92295969
2 0.040911211 23706.436
3 0.036085123 3482.2562
4 4.3968461e-05 1706879.1
5 2.3833892e-09 99042889.

Pressione 0+ENTER para continuar
: 0

63.150169 # Lambda
(2-->1) # Nivel Maior --> Menor
5.7332925e-23 # Emissividade Volumetrica

44.163739 146.89162
(3-->1) (3-->2)
1.0874912e-28 4.2699992e-24

6300.3199 6363.8099 6391.4999
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
3.9170810e-22 1.2510346e-22 5.8761857e-26

2958.3698 2972.2940 2978.3205 5577.1857
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
1.9364953e-27 6.0052783e-25 0.0000000 5.3482165e-24
```

Figura 3.4: Teste comparativo (O^0): ALGORITMO NEBULAR *versus* IRAF.

```

IRAF
# Level Populations - Critical Densities
Level 1: 1,6E-1
Level 2: 4,389E-1      5,450E2
Level 3: 3,983E-1      3,734E3
Level 4: 4,299E-4      6,695E5
Level 5: 6,137E-8      2,941E7
Level 6: 9,88E-11      4,155E10

875803,22 # Wavelength
(2-->1) # Upper->Lower Level
5,796E-23 # Volume Emissivity

325494,77 518017,42
(3-->1) (3-->2)
1,713E-28 3,313E-22

4931,00 4958,92 5006,85
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
9,275E-25 2,378E-21 6,860E-21

2314,88 2321,02 2331,46 4363,21
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
INDEF 2,510E-23 7,367E-26 1,062E-22

```

```

Algoritmo Nebular

Nivel Pop. Niveis (MED) Dens. Crit. (/cm2) (MED)
1 0.16236359
2 0.43896376 545.21983
3 0.39824308 3737.1778
4 0.00042950979 670147.78
5 6.1310180e-08 28450034.

Pressione 0+ENTER para continuar
: 0

87.580320 # Lambda
(2-->1) # Nivel Maior --> Menor
5.7969489e-23 # Emissividade Volumetrica

32.549476 51.801741
(3-->1) (3-->2)
1.7121411e-28 3.3123007e-22

4931.0005 4958.9205 5006.8505
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
9.2668283e-25 2.3763101e-21 6.8542998e-21

2314.8807 2321.0155 2331.4618 4363.2092
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
0.0000000 2.5070851e-23 7.3598608e-26 1.0607151e-22

```

Figura 3.5: Teste comparativo (O^{++}): ALGORITMO NEBULAR *versus* IRAF.

IRAF

```
# Level Populations - Critical Densities
Level 1; 9.4E-1
Level 2; 1.752E-2 3.973E3
Level 3; 4.547E-2 1.545E3
Level 4; 8.702E-6 9.768E5
Level 5; 1.038E-5 1.991E6
Level 6; 1.69E-16 2.227E14
Level 7; 1.05E-16 1.769E14
Level 8; 5.03E-17 1.557E14

6730.78 # Wavelength
(2-->1) # Upper->Lower Level
3.067E-20 # Volume Emissivity

6716.42 3148614.6
(3-->1) (3-->2)
2.448E-20 6.407E-26

4076.35 10336.31 10370.36
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
2.561E-21 1.572E-21 6.967E-22

4068.60 10286.63 10320.34 2139952.9
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
7.605E-21 1.618E-21 2.025E-21 6.619E-29
```

Algoritmo Nebular

```
Nivel Pop. Niveis (MED) Dens. Crit. (/cm2) (MED)
1 0.93696891
2 0.017517753 3972.5399
3 0.045494247 1544.2483
4 8.6987566e-06 976940.58
5 1.0393872e-05 1989458.6

Pressione 0+ENTER para continuar
: 0

6730.7796 # Lambda
(2-->1) # Nivel Maior --> Menor
3.0676116e-20 # Emissividade Volumetrica

6716.4219 314.86145
(3-->1) (3-->2)
2.4489420e-20 6.4103111e-26

4076.3500 10336.313 10370.357
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
2.5604200e-21 1.5714768e-21 6.9651163e-22

4068.5998 10286.627 10320.343 213.99529
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
7.6122354e-21 1.6191500e-21 2.0273284e-21 6.6253328e-29
```

Figura 3.6: Teste comparativo (S^+): ALGORITMO NEBULAR *versus* IRAF.

IRAF

```
# Level Populations - Critical Densities
Level 1: 9.9E-1
Level 2: 1.804E-3      2.278E4
Level 3: 6.635E-3      6.974E3
Level 4: 5.028E-7      2.309E6
Level 5: 4.291E-7      6.711E6

5537.60 # Wavelength
(2-->1) # Upper->Lower Level
5.564E-21 # Volume Emissivity

5517.66 1532332.2
(3-->1) (3-->2)
4.820E-21 6.624E-26

3353.33 8501.42 8548.85
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
9.085E-23 1.057E-22 2.950E-23

3342.90 8434.70 8481.38 1074691.0
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
4.405E-22 8.564E-23 9.723E-23 1.404E-29
```

Algoritmo Nebular

```
Nivel Pop. Niveis (MED) Dens. Crit. (/cm2) (MED)
1 0.99156124
2 0.0018036587 22777.142
3 0.0066341665 6973.6090
4 5.0283066e-07 2309073.2
5 4.2903165e-07 6712885.2

Pressione 0+ENTER para continuar
: 0

5537.6014 # Lambda
(2-->1) # Nivel Maior --> Menor
5.5644172e-21 # Emissividade Volumetrica

5517.6615 153.23322
(3-->1) (3-->2)
4.8187392e-21 6.6223592e-26

3353.3304 8501.4206 8548.8498
(4-->1) (4-->2) (4-->3)
9.0851862e-23 1.0574537e-22 2.9502854e-23

3342.8996 8434.6973 8481.3829 107.46910
(5-->1) (5-->2) (5-->3) (5-->4)
4.4042567e-22 8.5634368e-23 9.7221474e-23 1.4036782e-29
```

Figura 3.7: Teste comparativo (Cl⁺⁺): ALGORITMO NEBULAR *versus* IRAF.

Tabela 3.12: Teste dos cálculos de emissividades de $H\beta$ e abundâncias iônicas

Ion	λ (Å)	$I(\lambda)$	N_e (cm^{-3})	T_e (K)	$j(H\beta)_{IRAF}$	$j(H\beta)_{Nebular}$	$(X/H^+)_{IRAF}$	$(X/H^+)_{Nebular}$
N^+	5755	2,36	5.000	13.000	$9,94 \times 10^{-26}$	$9,94 \times 10^{-26}$	$9,103 \times 10^{-6}$	$9,096 \times 10^{-6}$
N^+	6548	76,01	5.000	13.000	$9,94 \times 10^{-26}$	$9,94 \times 10^{-26}$	$2,478 \times 10^{-5}$	$2,477 \times 10^{-5}$
N^+	6584	235,43	5.000	13.000	$9,94 \times 10^{-26}$	$9,94 \times 10^{-26}$	$2,602 \times 10^{-5}$	$2,602 \times 10^{-5}$
O^0	6300	1,10	2.000	8.500	$1,45 \times 10^{-25}$	$1,45 \times 10^{-25}$	$4,054 \times 10^{-6}$	$4,056 \times 10^{-6}$
O^0	6363	0,70	2.000	8.500	$1,45 \times 10^{-25}$	$1,45 \times 10^{-25}$	$8,116 \times 10^{-6}$	$8,120 \times 10^{-6}$
O^{++}	4959	60,91	1.500	13.000	$9,94 \times 10^{-26}$	$9,94 \times 10^{-26}$	$2,730 \times 10^{-5}$	$2,733 \times 10^{-5}$
O^{++}	5007	112,77	1.500	13.000	$9,94 \times 10^{-26}$	$9,94 \times 10^{-26}$	$1,752 \times 10^{-5}$	$1,754 \times 10^{-5}$
S^+	6717	2,76	5.000	8.000	$1,53 \times 10^{-25}$	$1,53 \times 10^{-25}$	$6,040 \times 10^{-7}$	$6,038 \times 10^{-7}$
S^+	6731	9,73	5.000	8.000	$1,53 \times 10^{-25}$	$1,53 \times 10^{-25}$	$1,212 \times 10^{-6}$	$1,212 \times 10^{-6}$

Na Tabela 3.12 são apresentados os testes da emissividade volumétrica de $H\beta$ e das abundâncias iônicas. O teste é feito de maneira que na primeira coluna são listados os íons, na segunda coluna o comprimento de onda para o qual o cálculo foi realizado, na terceira coluna as intensidades das linhas de emissão normalizadas para $H\beta$ igual a 100, na quarta e quinta colunas, respectivamente, os valores de entrada de N_e e T_e . Na sexta e na sétima coluna são mostrados, respectivamente, os resultados obtidos para a emissividade volumétrica de $H\beta$ pelo programa *temden* (*stdas.analysis.nebular*), do *IRAF*, ($j(H\beta)_{IRAF}$), e pelo ALGORITMO NEBULAR, ($j(H\beta)_{Nebular}$). Nas duas últimas colunas são listados os resultados obtidos para as abundâncias iônicas, obtidos pelo programa *ionic*, ($(X/H^+)_{IRAF}$), e ALGORITMO NEBULAR, ($(X/H^+)_{Nebular}$). De acordo com esta tabela, as diferenças entre os resultados dos 2 programas é sempre menor que 1%.

Os testes referentes aos cálculos das abundâncias químicas totais serão feitos entre os resultados obtidos a partir das equações 3.7 a 3.16, $(X/H^+)_{Eq.}$, e os resultados obtidos através do ALGORITMO NEBULAR, $(X/H^+)_{Nebular}$. A Tabela 3.13 lista os parâmetros de entrada de cada teste, enquanto que os resultados estão na Tabela 3.14. Mais uma vez não houve diferenças entre os resultados obtidos através das equações teóricas e através do ALGORITMO NEBULAR.

Com base nos testes apresentados, é possível concluir que tanto o ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO, quanto o ALGORITMO NEBULAR dão bons resultados se contrastados com o mais comumente usado e amplamente testado código de análise de parâmetros físico-químicos, *Nebular* do *IRAF*, e portanto, estão prontos para serem usados nesta dissertação e em outros trabalhos que utilizem mapas espectroscópicos.

Conforme pôde ser visto nos testes apresentados, os resultados obtidos através do ALGORITMO NEBULAR praticamente não apresentam diferenças maiores que 1%. As diferenças maiores que 1% encontradas ainda assim são próximas à este valor (como por exemplo, o resultado da população do nível 2, de oxigênio, cuja diferença é 1,22%).

Desta forma, concluímos que tanto o ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO, como o ALGORITMO NEBULAR são ferramentas que determinam bem as quantidades que

Tabela 3.13: Parâmetros de entrada para o teste das abundâncias químicas totais

Elemento	Abundâncias de entrada
Nitrogênio	$O/H=2,55 \times 10^{-4}$, $O^+/H^+=9,76 \times 10^{-5}$, $N^+/H^+=8,92 \times 10^{-5}$
Oxigênio	$He^+/H^+=0,09$, $He^{++}/H^+=0,01$, $O^+/H^+=1,50 \times 10^{-4}$, $O^{++}/H^+=2,83 \times 10^{-5}$
Enxofre	$O/H=2,82 \times 10^{-4}$, $O^+/H^+=2,07 \times 10^{-5}$, $S^+/H^+=1,74 \times 10^{-6}$, $S^{++}/H^+=8,23 \times 10^{-7}$
Neônio	$O/H=8,50 \times 10^{-4}$, $O^{++}/H^+=6,31 \times 10^{-4}$, $Ne^{++}/H^+=1,40 \times 10^{-7}$
Argônio	$Ne/H=9,34 \times 10^{-8}$, $Ne^{++}/H^+=8,17 \times 10^{-8}$, $Ar^{3+}/H^+=7,99 \times 10^{-8}$

Tabela 3.14: Teste dos resultados das abundâncias químicas totais

Elemento	$ICF_{Eq.}$	$ICF_{Nebular}$	$(X/H^+)_{Eq.}$	$(X/H^+)_{Nebular}$
Nitrogênio	2,613	2,613	$2,33 \times 10^{-4}$	$2,33 \times 10^{-4}$
Oxigênio	1,073	1,073	$1,91 \times 10^{-4}$	$1,91 \times 10^{-4}$
Enxofre	1,006	1,006	$2,57 \times 10^{-6}$	$2,57 \times 10^{-6}$
Neônio	1,347	1,347	$1,89 \times 10^{-7}$	$1,89 \times 10^{-7}$
Argônio	1,143	1,143	$9,13 \times 10^{-8}$	$9,13 \times 10^{-8}$

analisamos neste trabalho.

Em resumo, este capítulo apresentou o desenvolvimento dos ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO e ALGORITMO NEBULAR, em *IDL*, a partir da adaptação dos programas análogos, do *IRAF*.

As ferramentas descritas neste capítulo – tanto o mapeamento espectroscópico quanto os algoritmos construídos para a análise dos mapas – serão utilizadas no presente trabalho a fim de estudar NGC 40. O próximo capítulo apresenta algumas comparações entre resultados obtidos para os dados de uma dada fenda, de NGC 40, com a utilização dos programas do *IRAF* e resultados obtidos com a utilização dos ALGORITMO CORREÇÃO DE EXTINÇÃO e ALGORITMO NEBULAR. Esta comparação tem por objetivo mostrar que as medidas a partir dos mapas espectroscópicos não introduzem erros significativos quando comparados com as medidas de uma dada fenda.

Capítulo 4

Comparação Espectroscópica: Mapeamento \times Fenda Longa

No capítulo anterior apresentamos a técnica de mapeamento espectroscópico e os algoritmos que desenvolvemos para trabalhar com os mapas espectroscópicos. Também mostramos que os ALGORITMO DE CORREÇÃO DE EXTINÇÃO e NEBULAR representam bem as condições físico-químicas descritas por Osterbrock & Ferland (2006).

Neste capítulo testamos a robustez da técnica de mapeamento espectroscópico. Este procedimento é realizado através da comparação dos resultados encontrados a partir dos mapas espectroscópicos de NGC 40 com os resultados da análise de uma dada fenda. A fenda G foi escolhida para tal comparação.

4.1 Comparação 1: Medida dos Fluxos

A primeira análise diz respeito à comparação das medidas dos fluxos com cada um dos métodos. As linhas de emissão $H\beta$ 4861 Å, [O III] 4959 Å, [O III] 5007 Å, [N II] 6548 Å, $H\alpha$ 6563 Å, [N II] 6584 Å, [S II] 6717 Å e [S II] 6731 Å foram selecionadas para a comparação. Para a escolha destas linhas foram utilizados os seguintes critérios:

- (i) a amostra de linhas de comparação deveria conter tanto linhas de comprimento de onda próximos, como linhas isoladas. Adotou-se este critério porque o programa que constrói os mapas modela isoladamente o perfil de uma linha sem vizinhas próximas enquanto que, para uma linha que tenha vizinhas próximas, os ajustes desta linha e de suas vizinhas são feitos simultaneamente. Este critério visa verificar a confiabilidade de mapas que tenham sido construídos tanto de uma maneira quanto de outra.
- (ii) a amostra deveria conter tanto linhas mais intensas quanto linhas menos intensas. Este critério tem por objetivo investigar se a qualidade do método de mapeamento

Tabela 4.1: Extensões e posições das regiões de NGC 40 relativas à estrela central, fenda G

Região	Extensão (<i>arcsec</i>)	Posição relativa (<i>arcsec</i>)
<i>NOS</i>	11,5	de -32,5 a -21,0
<i>NIR</i>	17,0	de -20,0 a -3,0
<i>SIR</i>	21,1	de +2,1 a +23,2
<i>SOS</i>	11,5	de +24,2 a +35,7
<i>Neb</i>	68,2	de -32,5 a +35,7

espectroscópico está relacionada ou não com a intensidade da linha de emissão cujo mapa está sendo construído.

Utilizando o *IRAF*, através do programa *splot* (*noao.twodspec.longslit*), foram determinados os fluxos das linhas para 5 regiões da fenda G: *NOS* (*north outer shell*), *NIR* (*north inner rim*), *SIR* (*south inner rim*), *SOS* (*south outer shell*) e *Neb*. As 4 primeiras regiões estão identificadas na Figura 2.1, e a região *Neb* corresponde à emissão integrada que varre essas 4 zonas da nebulosa, passando, inclusive, pela zona da estrela central. As posições relativas à estrela central e extensões aproximadas, ao longo da fenda G, são listadas na Tabela 4.1. A extensão das regiões na direção do eixo menor é limitada pela largura da fenda, ou seja, todas têm 1,3 *arcsec*.

Os fluxos obtidos diretamente dos espectros ópticos com *splot*, para todas essas regiões, serão comparados com aqueles medidos dos mapas espectroscópicos. Nos mapas, cada *pixel* equivale a 1,0 *arcsec*. Por isso, as medidas obtidas com *IRAF* foram escalonadas de modo que também correspondessem a uma região de 1 *arcsec* de largura. Os fluxos medidos dos mapas, é claro, também correspondem às zonas *NOS*, *NIR*, *SIR*, *SOS* e *Neb*, na fenda G.

A Tabela 4.2 apresenta as medidas dos fluxos obtidos pelos 2 métodos (nas 2 primeiras colunas), além da diferença percentual entre estes fluxos (δ , na terceira coluna). Para mais de 75% dos casos as diferenças entre os resultados é menor que 10%. No pior dos casos a diferença é de 25%. Não sabemos exatamente quais são os fatores responsáveis pelas diferenças encontradas. Dois motivos que podem ser apresentados como possíveis causadores das discrepâncias são discutidos a seguir.

- (i) O escalonamento da medida do fluxo da fenda G: o escalonamento aproxima o fluxo ao longo da largura da fenda (ou seja, ao longo de 1,3 *arcsec*) como constante. Na prática, não há razão para que esta aproximação seja real, e variações do fluxo na região dos 0,3 *arcsec* sobressalentes podem introduzir erro. Este erro é exclusivo da medida feita para a comparação apresentada nesta seção e não se estende aos resultados da técnica de mapeamento espectroscópico.
- (ii) Inclusão de *pixels* onde o sinal é muito baixo: é possível que os ajustes de gaussianas nesses *pixels* não tenham convergido e, como os fluxos foram integrados

sobre regiões que incluem zonas de baixa intensidade, estas podem ser responsáveis pelas discrepâncias encontradas, por exemplo, para as linhas de [O III] na região *NOS* (20% e 25%).

Para analisar as diferenças ponto a ponto na distribuição de fluxo de uma dada linha de emissão, traçamos um gráfico comparativo da emissão em $\lambda = 5007 \text{ \AA}$ entre o mapa espectroscópico e o espectro da fenda G. A Figura 4.1 apresenta esta comparação, onde a emissão do mapa espectroscópico está representada pela linha pontilhada vermelha e a emissão do espectro é mostrada pela linha contínua azul. Note que, apesar das diferenças entre as medidas dos fluxos dessa linha chegarem a 25%, segundo a Tabela 4.2, a figura mostra que a correspondência ponto a ponto entre os fluxos é tal que as diferenças são menores do que este valor para toda a região nebulosa. A região da estrela central, por outro lado, não é bem modelada no mapa espectroscópico, como fica claro pela figura. Porém, como o foco deste trabalho é a análise do gás de NGC 40, esta figura corrobora a hipótese de que os fluxos representados nos mapas espectroscópicos são, de fato, ainda mais realistas do que o resultado da comparação da Tabela 4.2.

Dadas as diferenças encontradas e suas possíveis fontes, consideramos que a medida de fluxos é tal que não há perda significativa na utilização dos mapas espectroscópicos para a obtenção dos fluxos dos quais derivaremos as propriedades físico-químicas das nebulosas.

4.2 Comparação 2: Resultados Físico-Químicos

A segunda comparação realizada diz respeito aos resultados de N_e , T_e e abundâncias químicas encontrados com cada um dos métodos empregados para este fim. Calcularam-se as intensidades de todas as linhas de emissão identificadas na fenda G para 6 regiões da nebulosa: *NF* (do inglês, *North Filament*), *NOS*, *NIR*, *SIR*, *SOS* e *Neb*. Essas medidas são apresentadas nas Tabelas 4.3 e 4.4. Note que a região *Neb* inclui a região da estrela central e, por isso, esta região apresenta linhas que não são observadas nas demais regiões. A Figura 4.2 retrata o espectro de emissão de linhas associado à estrela central. Apesar da presença dessas linhas de emissão, o objetivo deste trabalho é estudar a região nebulosa de NGC 40 e, por isso, essas linhas associadas a estrela central, não foram incluídas na Tabela 4.4.

As linhas de emissão que foram utilizadas para calcular os parâmetros físicos de NGC 40 ($c_{H\beta}$, N_e e T_e) têm suas incertezas percentuais apresentadas na Tabela 4.5. Essas incertezas foram calculadas propagando-se os erros da calibração em comprimento de onda, da calibração em fluxo, da medida do fluxo da linha em questão e da determinação do contínuo. Para a determinação desses erros utiliza-se a relação

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + IG \times I, \quad (4.1)$$

Tabela 4.2: Comparação entre os fluxos observados medidos da fenda G e os mapas espectroscópicos das linhas de emissão correspondentes. Os fluxos são dados em $erg\ cm^{-2}\ s^{-1}$.

Identificação da Linha λ (Å)	NOS			NIR		
	Fenda G	Mapa	$\delta(\%)$	Fenda G	Mapa	$\delta(\%)$
H β 4861	3,22E-14	3,53E-14	8,79	1,18E-13	1,39E-13	14,53
[O III] 4959	3,59E-15	4,50E-15	20,19	2,80E-14	2,86E-14	1,90
[O III] 5007	1,10E-14	1,48E-14	25,22	8,49E-14	8,85E-14	3,98
[N II] 6548	3,94E-14	4,17E-14	5,53	1,36E-13	1,60E-13	14,90
H α 6563	1,30E-13	1,39E-13	6,17	4,71E-13	5,47E-13	13,82
[N II] 6584	1,18E-13	1,25E-13	5,60	4,13E-13	4,85E-13	14,91
[S II] 6717	5,10E-15	5,24E-15	2,66	1,80E-14	1,90E-14	5,18
[S II] 6731	6,62E-15	6,87E-15	3,61	2,45E-14	2,82E-14	13,13
Identificação da Linha λ (Å)	SIR			SOS		
	Fenda G	Mapa	$\delta(\%)$	Fenda G	Mapa	$\delta(\%)$
H β 4861	1,37E-13	1,41E-13	2,88	3,00E-14	3,00E-14	0,05
[O III] 4959	3,07E-14	3,24E-14	5,22	1,98E-15	1,84E-15	7,51
[O III] 5007	9,37E-14	9,97E-14	6,08	5,93E-15	6,15E-15	3,53
[N II] 6548	1,53E-13	1,59E-13	3,88	3,55E-14	3,57E-14	0,63
H α 6563	5,45E-13	5,57E-13	2,15	1,20E-13	1,19E-13	0,30
[N II] 6584	4,68E-13	4,78E-13	1,99	1,08E-13	1,08E-13	0,48
[S II] 6717	1,77E-14	1,68E-14	5,89	4,67E-15	4,34E-15	7,43
[S II] 6731	2,50E-14	2,45E-14	2,20	5,58E-15	5,43E-15	2,69
Identificação da Linha λ (Å)	Neb					
	Fenda G	Mapa	$\delta(\%)$			
H β 4861	3,88E-13	3,89E-13	0,12			
[O III] 4959	7,49E-14	7,13E-14	5,01			
[O III] 5007	2,25E-13	2,21E-13	1,81			
[N II] 6548	4,14E-13	4,22E-13	1,71			
H α 6563	1,47E-12	1,48E-12	0,39			
[N II] 6584	1,28E-12	1,29E-12	0,61			
[S II] 6717	5,25E-14	4,64E-14	13,15			
[S II] 6731	8,27E-14	6,59E-14	25,35			

onde σ é a incerteza, σ_0 é o ruído gaussiano, IG é o ganho inverso e I é a intensidade da emissão. Os erros destas quantidades foram determinados através do programa *splot* (*noao.twodspec.longslit*)¹. Com esses erros determinados, traçou-se um ajuste linear no diagrama $\log \sigma \times \log I$ para representar a dependência dos erros em função da intensidade da linha de emissão. Este ajuste é útil para determinar as incertezas das linhas de emissão que não tiveram seus erros calculados através do programa *splot*. Note que o método de

¹Para tanto, os parâmetros σ_0 e IG devem ter valores definidos no *splot*. O IG é obtido a partir da razão entre o espectro calibrado em fluxo e o não calibrado e o σ_0 é medido na vizinhança das linhas de interesse.

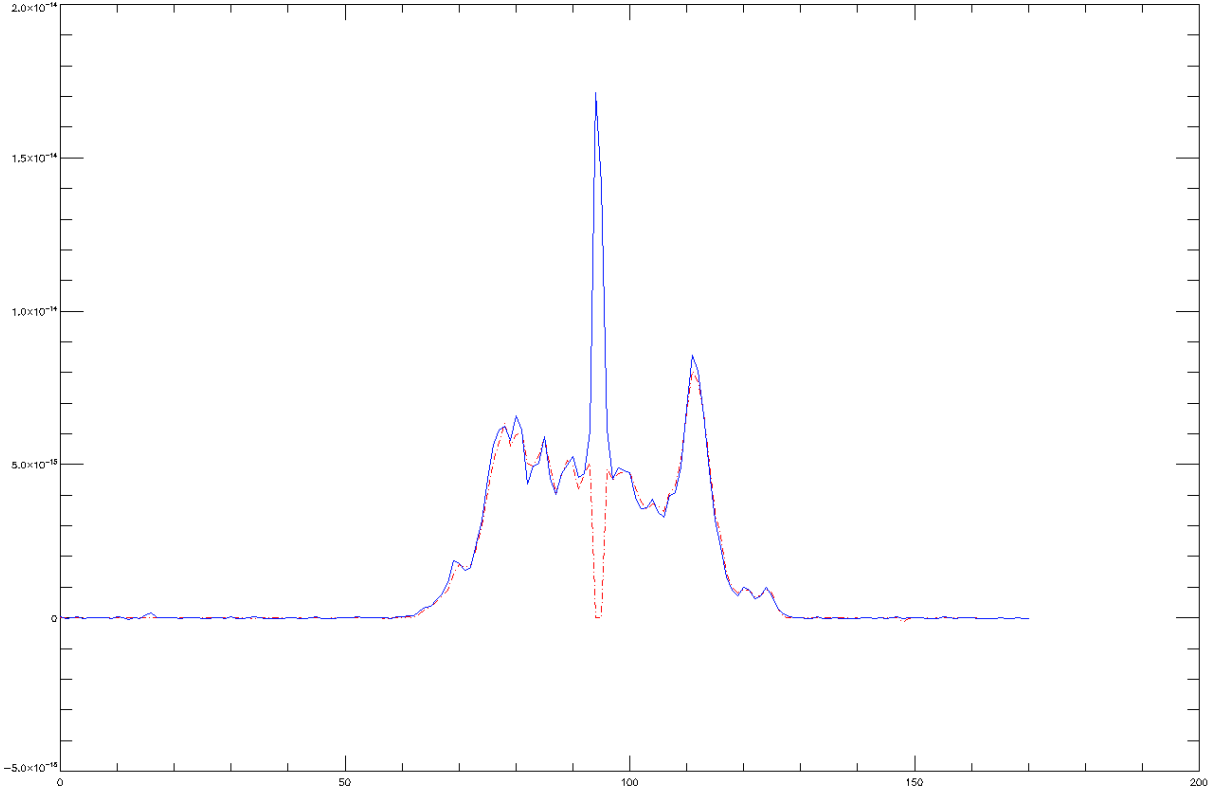


Figura 4.1: Comparação entre as emissões da linha [O III] 5007. Em azul é mostrado o perfil de fluxo do espectro e, em vermelho aquele do mapa espectroscópico.

determinação de erros com *splot* é sensível à qualidade da extração do céu, o que limita a obtenção de σ a uma fração do total de linhas.

A correção de extinção foi realizada através do programa *redcorr*, do *IRAF* (*stsdas.analysis.nebular*) e os $c_{H\beta}$'s de cada região foram determinados a partir da equação 3.2. As razões da Série de Balmer utilizadas no cálculo de $c_{H\beta}$ para a fenda G foram as mesmas utilizadas no caso dos mapas espectroscópicos ($H\alpha$, $H\gamma$ e $H\delta$, relativas a $H\beta$). Os valores encontrados para cada região são: $c_{H\beta}(NF) = 0,80^2$; $c_{H\beta}(NOS) = 0,43 \pm 0,16$; $c_{H\beta}(NIR) = 0,40 \pm 0,11$; $c_{H\beta}(SIR) = 0,43 \pm 0,10$; $c_{H\beta}(SOS) = 0,43 \pm 0,16$ e $c_{H\beta}(Neb) = 0,35 \pm 0,08$. As incertezas foram propagadas através da relação

$$\sigma_{c_{H\beta}}^2 = c_{H\beta}^2 \times (\sigma_{H\alpha}^2 + \sigma_{H\gamma}^2 + \sigma_{H\delta}^2), \quad (4.2)$$

onde σ representa a incerteza de cada uma das quantidades subscritas.

As intensidades (fluxos da fenda G corrigidos de extinção) foram, então, usadas para

²Não foi possível determinar as incertezas das linhas de emissão do *NF*, pelo método descrito, no *splot* (*noao.twodspec.longslit*).

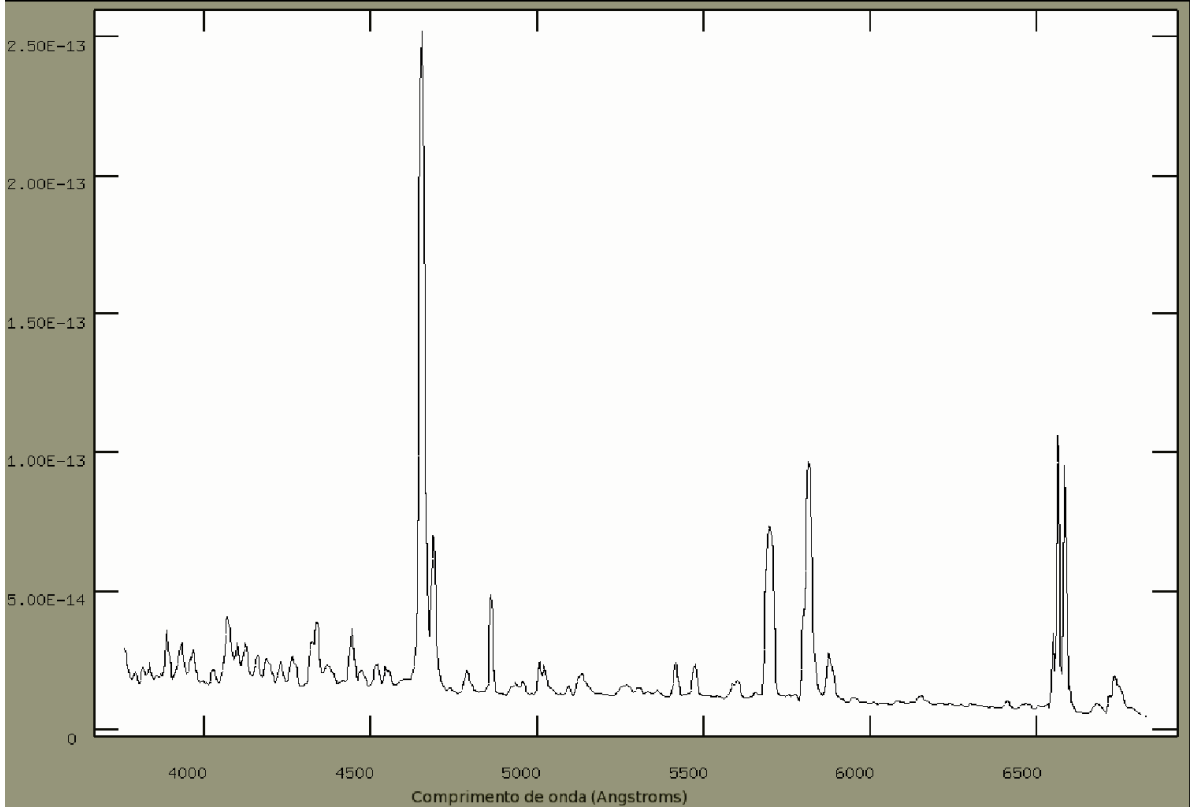


Figura 4.2: Espectro da região da estrela central, ao longo da Fenda G, de NGC 40.

determinar os parâmetros físicos e químicos da nebulosa através de *stsdas.analysis.nebular*, do *IRAF*.

A Tabela 4.6 apresenta os resultados encontrados. As incertezas de $N_e[\text{S II}]$ e $T_e[\text{N II}]$, listadas nesta tabela, foram propagadas, respectivamente, a partir das relações

$$\sigma_{N_e} = N_e \times (\sigma_{\lambda 6717}^2 + \sigma_{\lambda 6731}^2)^{(1/2)} \quad (4.3)$$

e

$$\sigma_{T_e} = T_e \times \left[\left(\frac{\sigma_{\lambda 6548}}{I_{\lambda 6548} \times I_{\lambda 6584}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda 6584}}{I_{\lambda 6548} \times I_{\lambda 6584}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda 5755}}{I_{\lambda 5755}} \right)^2 \right]^{(1/2)}. \quad (4.4)$$

As incertezas de $N_e[\text{Cl III}]$, $T_e[\text{O III}]$ e $T_e[\text{S II}]$ foram propagadas através de relações análogas.

As densidades e temperaturas eletrônicas adotadas para os cálculos de abundâncias iônicas foram $N_e[\text{S II}]$ e $T_e[\text{N II}]$. Não foi possível determinar N_e e T_e na região *NF*. Como para realizar os cálculos de abundâncias iônicas é necessário fornecer N_e e T_e , adotou-se, para a região *NF*, os valores de $N_e[\text{S II}]$ e $T_e[\text{N II}]$ encontrados para a região *NOS*.

Os resultados encontrados na análise da fenda G apontam pouca variação do valor

Tabela 4.3: Intensidades normalizadas para $H\beta = 100$ – Fenda G.

Identificação da Linha λ (Å)	Intensidades				
	NF	NOS	NIR	SIR	SOS
H10 3797	–	4,80	4,84	5,68	5,56
He I 3820	–	–	0,85	1,86	–
H9 3835	–	7,45	7,59	8,87	7,18
[Ne III] 3869	–	–	1,05	–	–
H8+He I 3888	–	15,51	17,85	21,57	15,8
H ϵ + [Ne III]+He I 3968	–	15,88	15,39	16,37	15,71
[Fe III]+He I 4009	–	–	0,18	–	–
He I 4026	–	–	1,49	1,17	–
S II 4033	–	–	0,33	–	–
[S II]+[S II] 4069+76	–	2,24	2,74	4,48	2,46
H δ 4101	–	25,28	24,70	25,54	24,41
H γ 4340	–	44,85	45,55	46,96	45,42
[O III] 4363	–	–	0,70	0,90	–
He I 4388	–	–	0,36	0,53	–
He I 4471	–	2,67	2,90	3,18	2,39
N III 4524	–	–	–	0,18	–
He II 4542	–	–	–	0,32	–
Mg I 4563+71	–	1,01	0,51	0,58	0,75
[C III]+[C IV] 4647+58	–	–	2,38	12,27	–
He II 4686	–	–	0,70	3,88*	–
[Ar IV] 4711	–	–	0,51	0,56	0,78
H β 4861	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
He I 4921	–	–	1,20	1,43	0,89
[O III] 4959	–	10,91	23,01	21,98	6,49
[O III] 5007	–	33,14	68,98	66,25	19,2
[N I] 5198+5200	–	1,37	0,92	0,93	1,34
[Fe II]+[Fe III] 5262+70	–	–	0,41	0,46	–
[Cl III] 5517	–	0,26	0,34	0,37	0,44
[Cl III] 5537	–	0,28	0,37	0,32	0,47
[O I] 5577	–	0,90	0,41	0,37	–
[N II] 5755	–	2,97	2,92	2,99	2,92
He I 5876	–	9,60	11,61	12,38	9,11
[O I] 6300	–	5,47	3,73	3,48	5,11
[S III]+He II 6312	–	0,54	0,74	0,69	0,23
[O I] 6363	–	1,78	1,22	1,19	1,63
He II 6406	–	–	0,12	–	–
[N II] 6548	110,20	87,57	84,10	85,19	88,53
H α 6563	310,62	296,92	296,43	300,18	298,7
[N II] 6584	375,66	267,88	258,05	256,87	269,22
He I 6678	–	3,04	3,24	3,59	2,96
[S II] 6717	34,38	11,60	11,28	9,57	11,45
[S II] 6731	18,42	15,03	15,34	13,47	13,66
$F(H\beta)$ (erg cm ⁻² s ⁻¹)	8,13E-16	2,21E-13	8,18E-13	9,38E-13	2,05E-13

*A linha He II 4686, na região SIR estão sobrepostas com linhas não identificadas.

Tabela 4.4: Fluxos e intensidades, normalizadas para $H\beta = 100$ para a região *Neb* – Fenda G.

Identificação da Linha	Neb	
	Fluxo Medido	Intensidade
H10 3797	5,34	6,84
He I 3820	3,11	3,97
H9 3835	8,49	10,80
[Ne III] 3869	1,19	1,50
H8+He I 3888	22,94	28,90
H ϵ + [Ne III]+He I 3968	16,44	20,79
He I 4026	1,39	1,70
[S II]+[S II] 4069+76	9,91	12,01
H δ 4101	19,34	23,27
H γ 4340	40,99	46,51
[O III] 4363	2,66	3,00
He I+? 4388	9,49	10,49
He I 4471	3,89	4,27
H β 4861	100,00	100,00
He I 4921	1,71	1,69
[O III] 4959	18,76	18,38
[O III] 5007	57,1	55,39
[N I] 5198+5200	0,33	0,31
[Fe II]+[Fe III] 5262+70	1,4	1,29
[Cl III] 5517	0,58	0,52
[Cl III] 5537	0,56	0,50
[N II] 5755	3,51	3,02
He I 5876	20,62	17,51
[O I] 6300	4,78	3,87
[S III]+He II 6312	1,03	0,83
[O I] 6363	1,42	1,14
He II 6406	1,16	0,93
[N II] 6548	105,90	83,45
H α 6563	377,43	296,95
[N II] 6584	328,89	258,18
He I 6678	4,00	3,11
[S II] 6717	13,09	10,13
[S II] 6731	20,77	16,05
F(H β) (erg cm ⁻² s ⁻¹)	1,52E-11	

Observação: As linhas que aparecem apenas na zona da estrela central não foram incluídas na tabela.

Tabela 4.5: Erros percentuais dos fluxos das linhas de emissão utilizadas nos cálculos dos parâmetros físicos de NGC 40 – Fenda G.

Identificação da Linha	Erros (%)				
	NOS	NIR	SIR	SOS	Neb
[S II]+[S II] 4069+76	25	–	9	18	–
H δ 4101	16	10	8	10	7
H γ 4340	13	9	9	13	7
[O III] 4363	–	21	21	–	–
H β 4861	12	8	8	14	6
[O III] 4959	–	8	8	–	–
[O III] 5007	–	8	8	–	–
[Cl III] 5517	41	13	15	31	74
[Cl III] 5537	46	13	15	33	49
[N II] 5755	14	8	8	14	11
[N II] 6548	11	7	7	10	5
H α 6563	10	7	6	10	4
[N II] 6584	10	7	7	10	4
[S II] 6717	13	9	9	13	8
[S II] 6731	13	9	8	14	7

médio de T_e [N II] de região para região. Por outro lado, a variação do valor médio de N_e [S II] é significativa de uma região para outra. Apesar disso, as abundâncias são pouco dependentes das variações de N_e . Por isso, é improvável que algum erro significativo esteja sendo introduzido quando adotamos N_e [S II] de outra região para determinar as abundâncias iônicas na região NF .

Note que a densidade da região Neb é significativamente superior àquela de qualquer das regiões analisadas. Isto deve-se ao fato de que a fenda escolhida para esta análise passa pela zona central da nebulosa, muito próxima à estrela central. Veremos no Capítulo 5 que esta zona apresenta valores de N_e [S II] que ultrapassam 3.000 cm^{-3} , subindo então o valor médio de N_e [S II] quando integra-se a emissão de toda a nebulosa, ao longo da fenda G.

De maneira geral, os resultados da Tabela 4.6 concordam com os mapas espectroscópicos que serão apresentados no Capítulo 5. Em particular, a variação de N_e , de uma região para outra, aqui encontrada, pode ser claramente visualizada no mapa de N_e [S II] (Figura 5.1).

Com base nas duas comparações mostradas neste capítulo, concluímos que (i) o método de mapeamento espectroscópico não degrada a qualidade dos dados, e que (ii) os mapas dos parâmetros físicos e químicos, derivados pelas ferramentas que desenvolvemos, são consistentes com os resultados obtidos pela análise de fenda longa gerado com os programas do algoritmo *Nebular*, do *IRAF*.

Tabela 4.6: N_e 's, T_e 's e abundâncias iônicas (*stdas.analysis.nebular* – *IRAF*).

Parâmetro	Resultados Fenda G					
	NF	NOS	NIR	SIR	SOS	Neb
N_e [S II] (cm^{-3})	–	1500(\pm 320)	1750(\pm 220)	2050(\pm 210)	1100(\pm 330)	3200(\pm 190)
N_e [Cl III] (cm^{-3})	–	3300(\pm 2000)	3400(\pm 630)	1300(\pm 280)	3200(\pm 1400)	2200(\pm 2000)
T_e [N II] (K)	–	9050(\pm 1400)	9100(\pm 900)	9100(\pm 900)	9050(\pm 1400)	8750(\pm 1000)
T_e [O III] (K)	–	–	11600(\pm 2500)	12950(\pm 2000)	–	–
T_e [S II] (K)	–	8450(\pm 2700)	7000(\pm 1100)	–	12350(\pm 2800)	–
$\tilde{I}_{\text{ion}}/\lambda$ (\AA)						
N^0 5198+5200	–	1,81E-6	1,35E-6	1,41E-6	1,77E-6	6,75E-7
N^+ 5755	–	6,95E-5	6,65E-5	6,61E-5	6,98E-5	8,21E-5
N^+ 6548	8,53E-5	6,77E-5	6,46E-5	6,50E-5	6,83E-5	7,34E-5
N^+ 6583	9,86E-5	7,02E-5	6,72E-5	6,64E-5	7,04E-5	7,69E-5
O^0 5577	–	1,53E-4	6,83E-5	6,00E-5	–	–
O^0 6300	–	1,56E-5	1,05E-5	9,63E-6	1,46E-5	1,28E-5
O^0 6363	–	1,59E-5	1,07E-5	1,02E-5	1,46E-5	1,18E-5
O^{++} 4363	–	–	7,43E-5	9,28E-5	–	4,26E-4
O^{++} 4959	–	1,58E-5	3,29E-5	3,10E-5	9,44E-6	3,05E-5
O^{++} 5007	–	1,56E-5	3,42E-5	3,24E-5	9,69E-6	3,19E-5
Ne^{++} 3869	–	–	1,75E-6	–	–	2,99E-6
S^+ 4069	–	8,21E-7	–	–	9,76E-7	4,16E-6
S^+ 6717	2,99E-6	1,01E-6	1,03E-6	9,21E-7	9,01E-7	1,35E-6
S^+ 6731	1,24E-6	1,01E-6	1,04E-6	9,20E-7	9,03E-7	1,35E-6
S^{++} 6312	–	2,01E-6	2,70E-6	2,47E-6	8,66E-7	3,61E-6
Cl^{++} 5517	–	4,38E-8	5,79E-8	6,37E-8	7,17E-8	1,14E-7
Cl^{++} 5537	–	5,31E-8	6,87E-8	5,82E-8	9,11E-8	1,02E-7
Ar^{3+} 4711	–	–	1,15E-7	1,27E-7	1,74E-7	–

Neste capítulo foram comparados os resultados físico-químicos oriundos do mapeamento espectroscópico e da análise de fenda longa única, com o objetivo de testar a robustez da técnica de mapeamento espectroscópico.

O Capítulo 5, a seguir, é dedicado à descrição dos resultados obtidos através da aplicação da técnica de mapeamento espectroscópico à nebulosa planetária NGC 40, e uso das ferramentas que desenvolvemos em *IDL* para a análise destes mapas.

Capítulo 5

Resultados

5.1 Linhas de Emissão

A técnica de mapeamento espectroscópico foi usada para gerar 31 mapas de diferentes linhas de emissão. Note que as Tabelas 4.2 e 4.3 listam mais do que estas 31 linhas de emissão. Tal diferença se deve ao fato de que algumas das linhas listadas nas tabelas anteriores são pouco intensas e, apesar de terem sido medidas em uma dada região da fenda G, suas intensidades são demasiadamente baixas em outras regiões. Os mapas referentes às linhas de emissão do He I 4388 Å e He II 4686 Å (Figuras 5.2 e 5.3), apresentados neste trabalho, são exemplos de algumas destas linhas de baixa intensidade que foram espectroscopicamente mapeadas. O mapa de He II 4686 Å mostra que — ao menos à profundidade dos espectros aqui estudados —, de fato, a emissão desta linha é praticamente ausente para este objeto, o que confirma sua classificação como uma nebulosa de baixo grau de excitação.

Os 31 mapas gerados — listados, anteriormente, na Tabela 3.1 — foram corrigidos do efeito de avermelhamento e suas intensidades totais foram determinadas. Os mapas corrigidos do efeito de extinção são apresentados nas Figuras 5.1 a 5.8. O mapa de H α também é apresentado antes de ter sido corrigido de extinção, na Figura 5.9. Esta figura compara este mapa espectroscópico de H α com a imagem em H α , que fora mostrada na Figura 2.1. Desta vez, a resolução da imagem foi diminuída, de forma a apresentar uma resolução mais próxima à resolução dos mapas. Este procedimento foi realizado para facilitar a comparação visual entre a imagem e o mapa espectroscópico de H α . É possível notar, através desta comparação, que a técnica de mapeamento espectroscópico é eficaz em reconstruir as estruturas da nebulosa; porém, existem pequenas diferenças entre a imagem e o mapa espectroscópico de H α . Além do limite intrínseco da técnica que interpola zonas não observadas e, por isso, é incapaz de representar com perfeição cada detalhe observado na imagem, é importante ressaltar que os diferentes tempos de exposição da imagem e do mapa podem ser responsáveis por algumas das diferenças observadas.

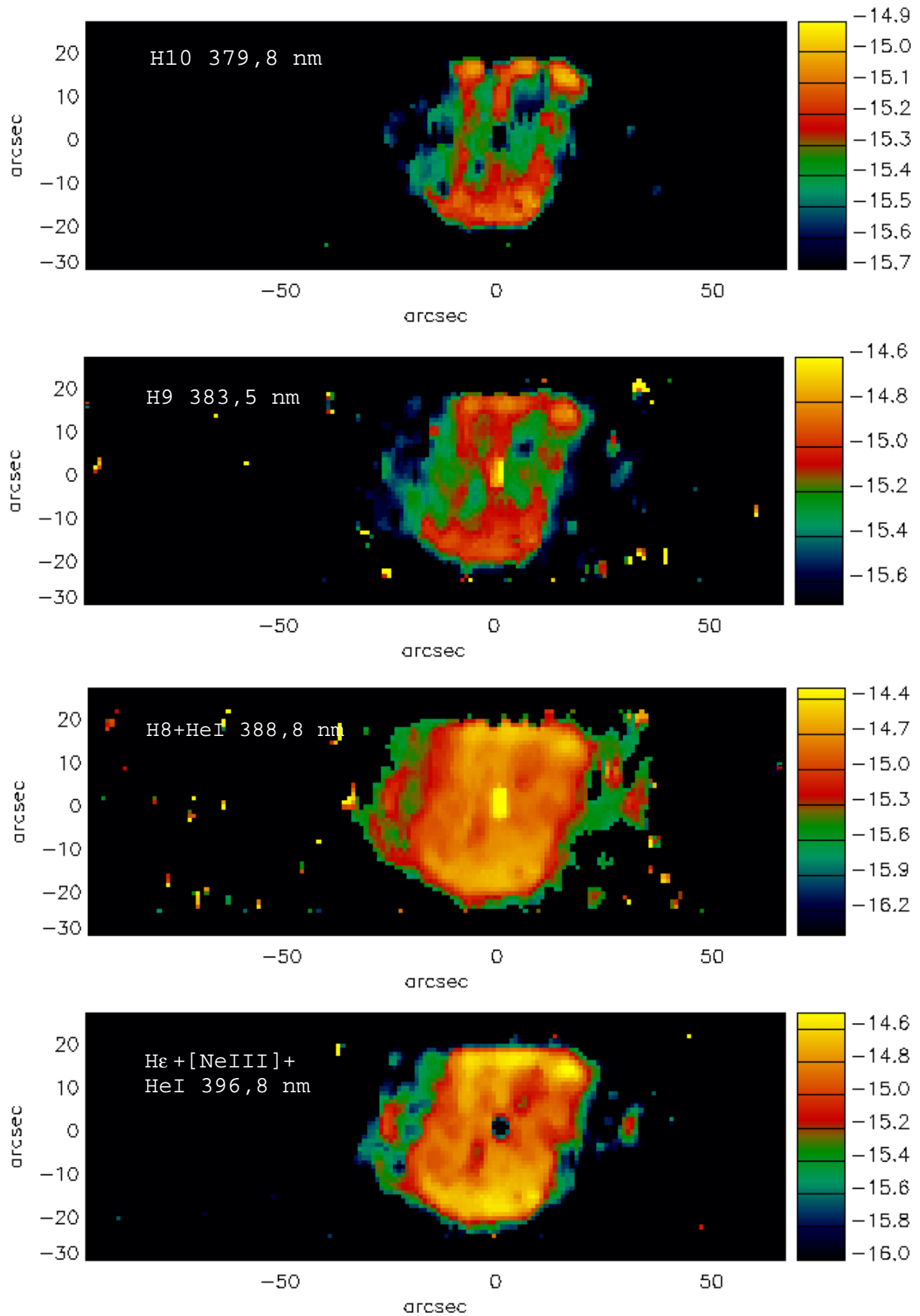


Figura 5.1: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: H10 3798 Å, H9 3835 Å, H8+He I 3888 Å e He+[Ne III]+He I 3968 Å.

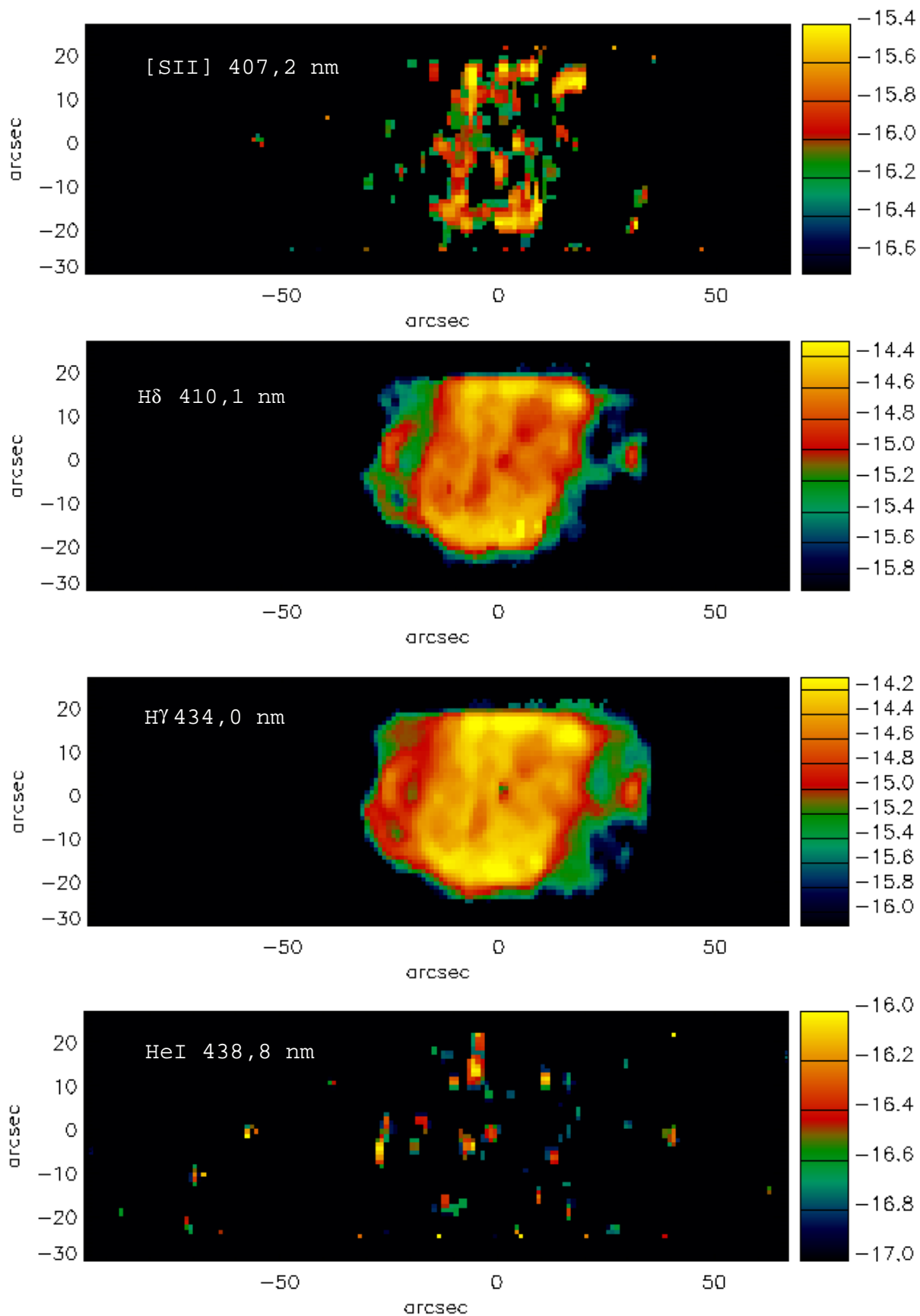


Figura 5.2: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: S II 4072 Å, H δ 4101 Å, H γ 4340 Å e He I 4388 Å.

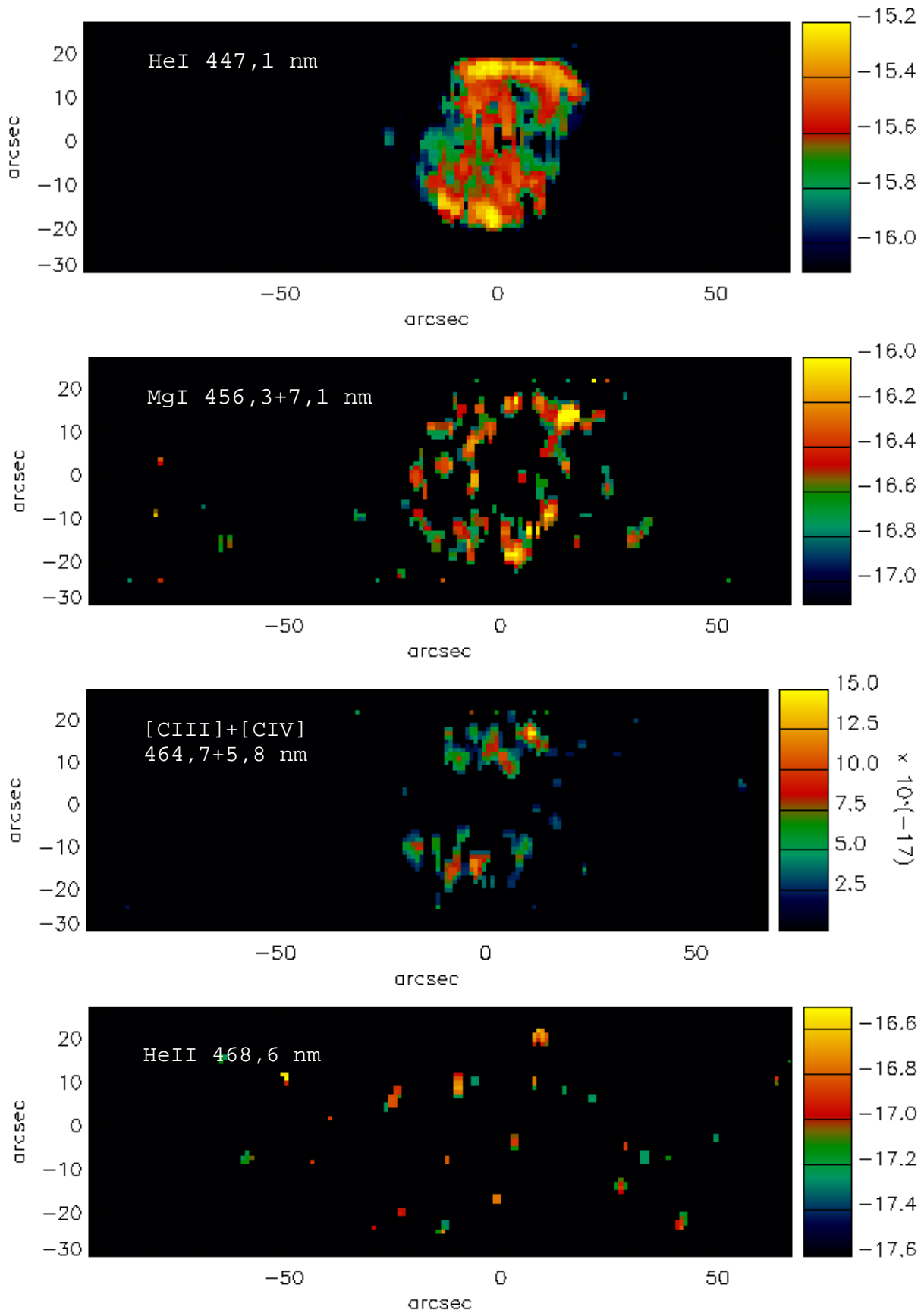


Figura 5.3: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: He I 4471 Å, Mg I 4563+71 Å, [C III]+[C IV] 4647+58 Å e He II 4686 Å.

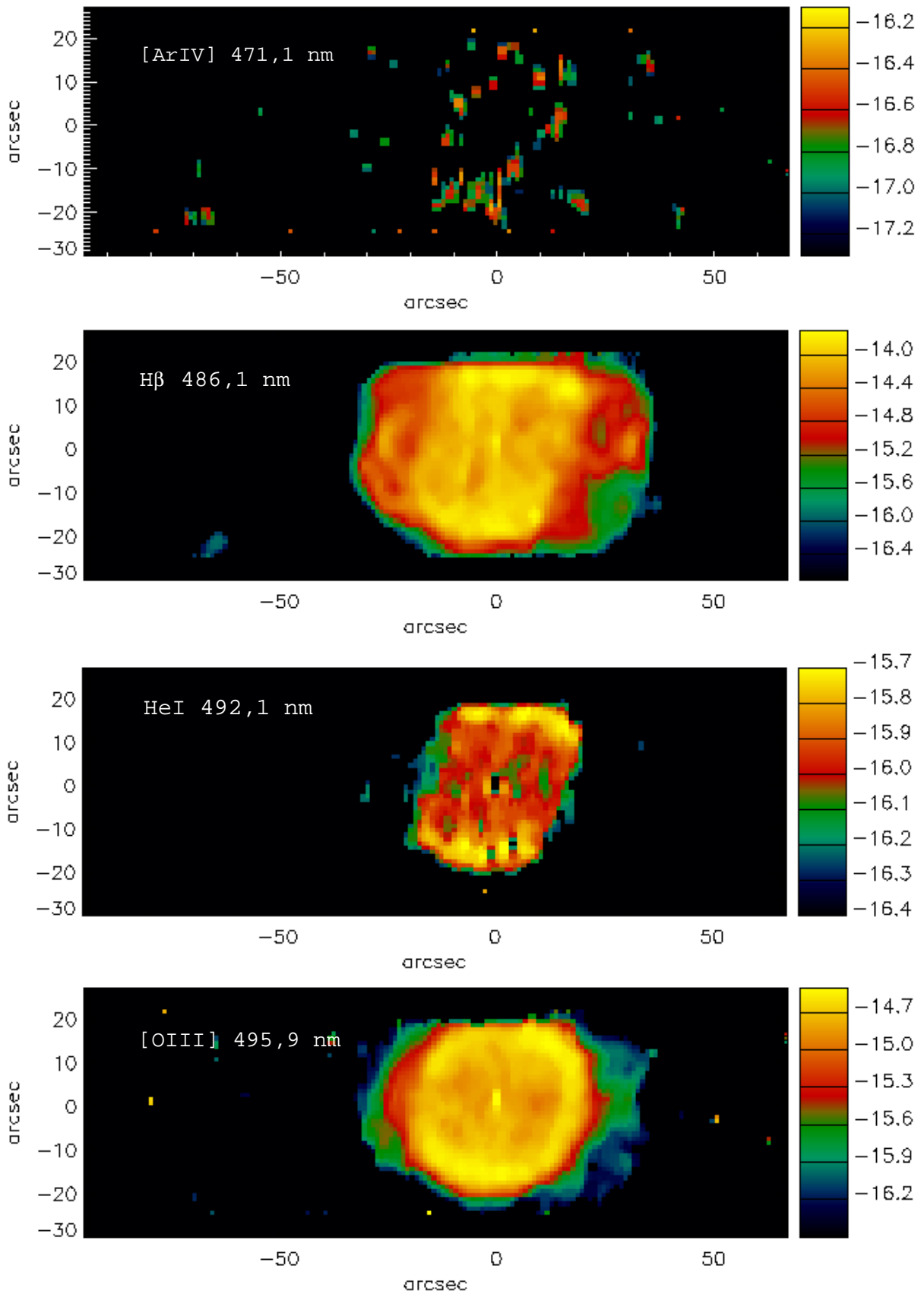


Figura 5.4: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: [Ar IV] 4711 Å, H β 4861 Å, He I 4921 Å e [O III] 4959 Å.

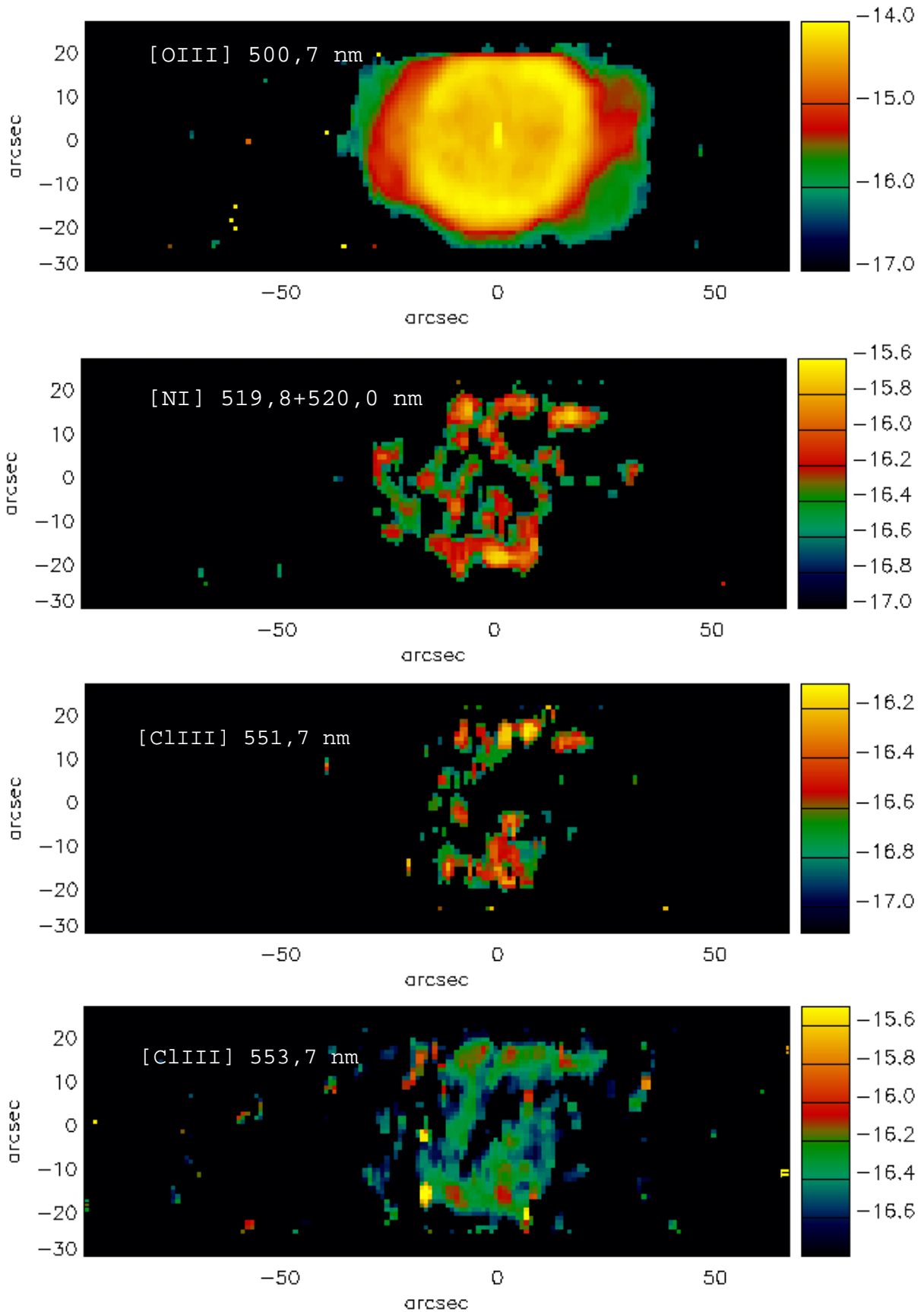


Figura 5.5: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: [O III] 5007 Å, [N I] 5198+5200 Å, [Cl III] 5517 Å e [Cl III] 5537 Å.

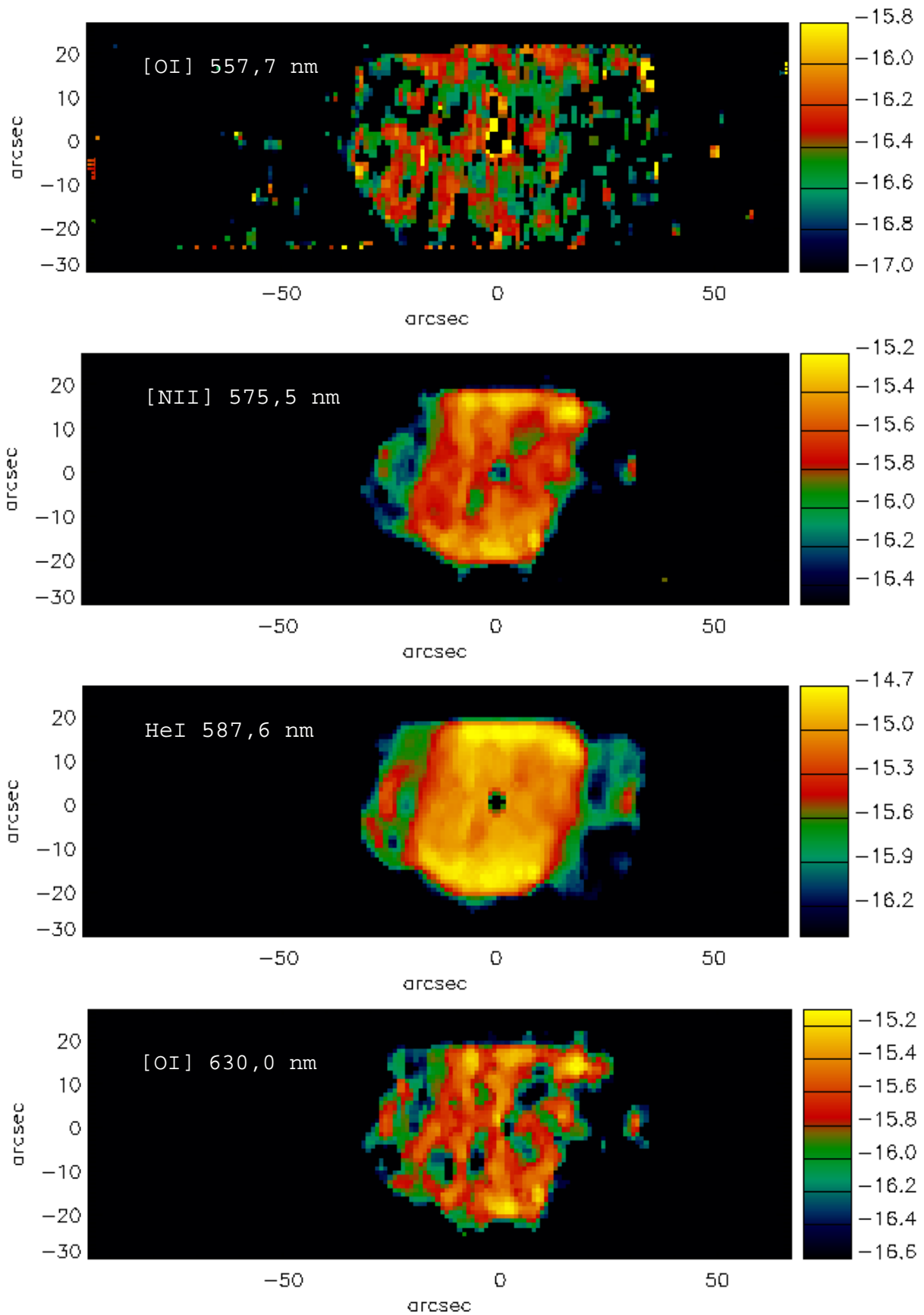


Figura 5.6: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: [O I] 5577 Å, [N II] 5755 Å, He I 5876 Å e [O I] 6300 Å.

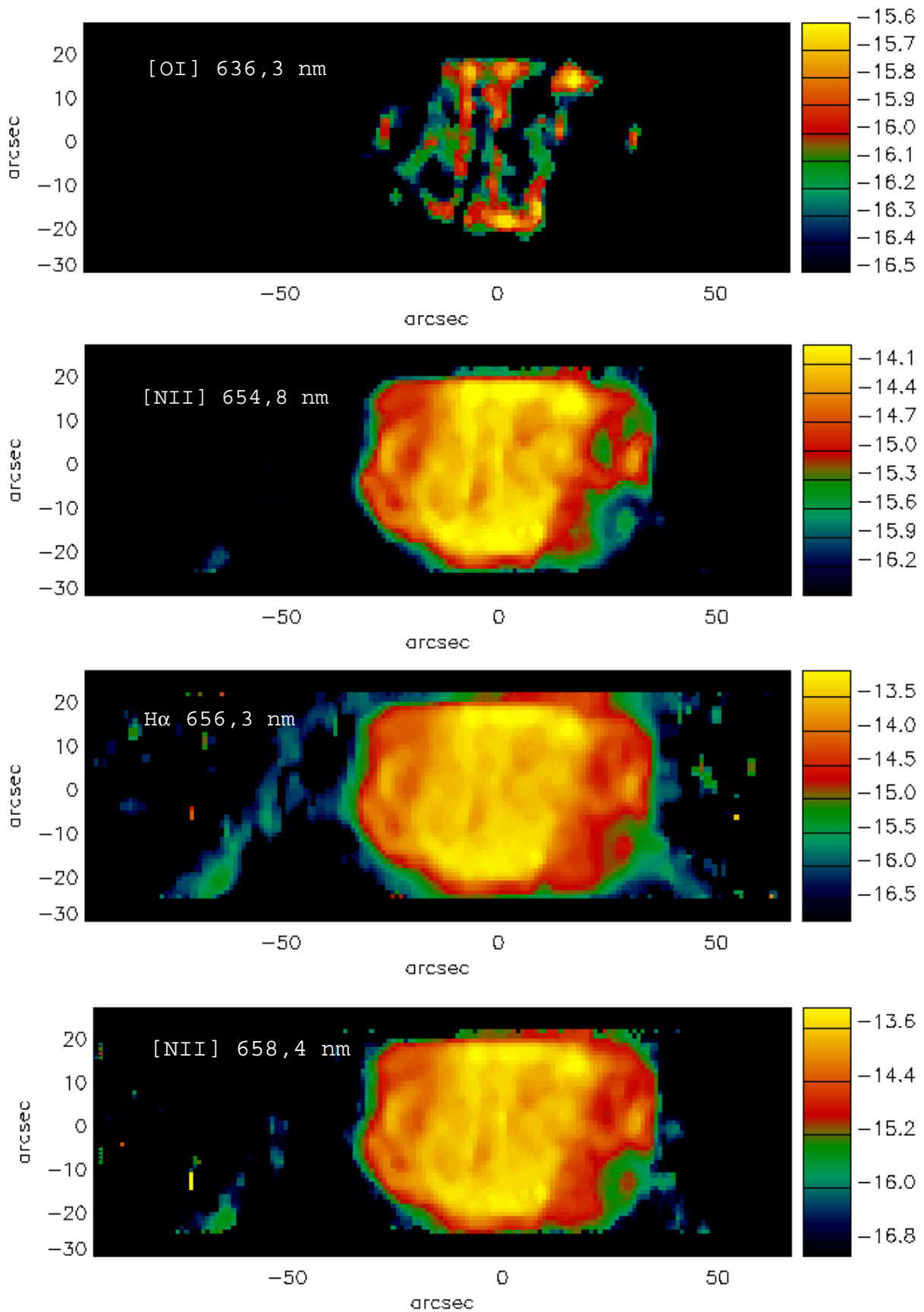


Figura 5.7: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: [O I] 6363 Å, [N II] 6548 Å, H α 6563 Å e [N II] 6584 Å.

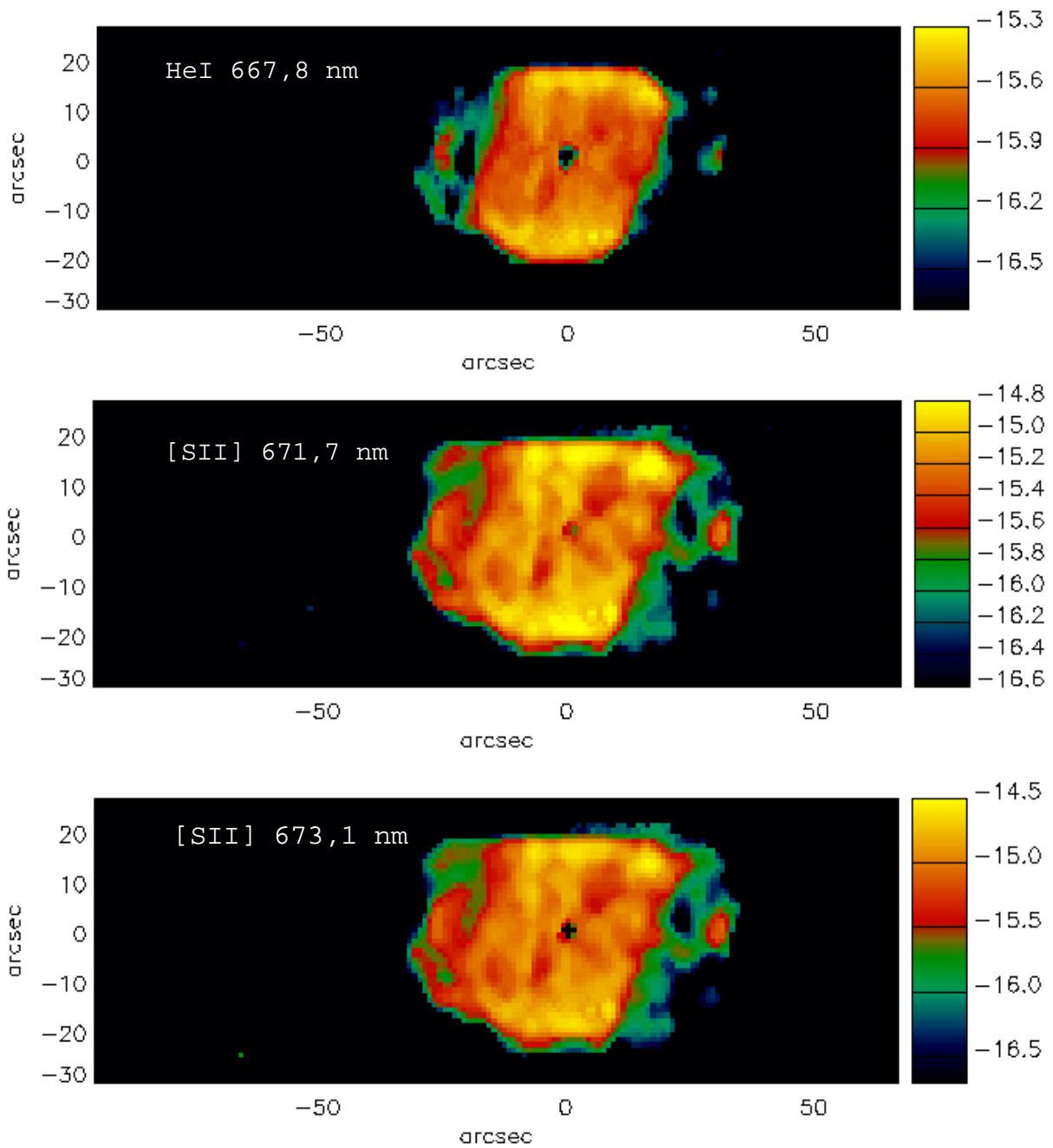


Figura 5.8: Mapas espectroscópicos de intensidade ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), em escala logarítmica. De cima para baixo: He I 6678 Å, [S II] 6717 Å e [S II] 6731 Å.

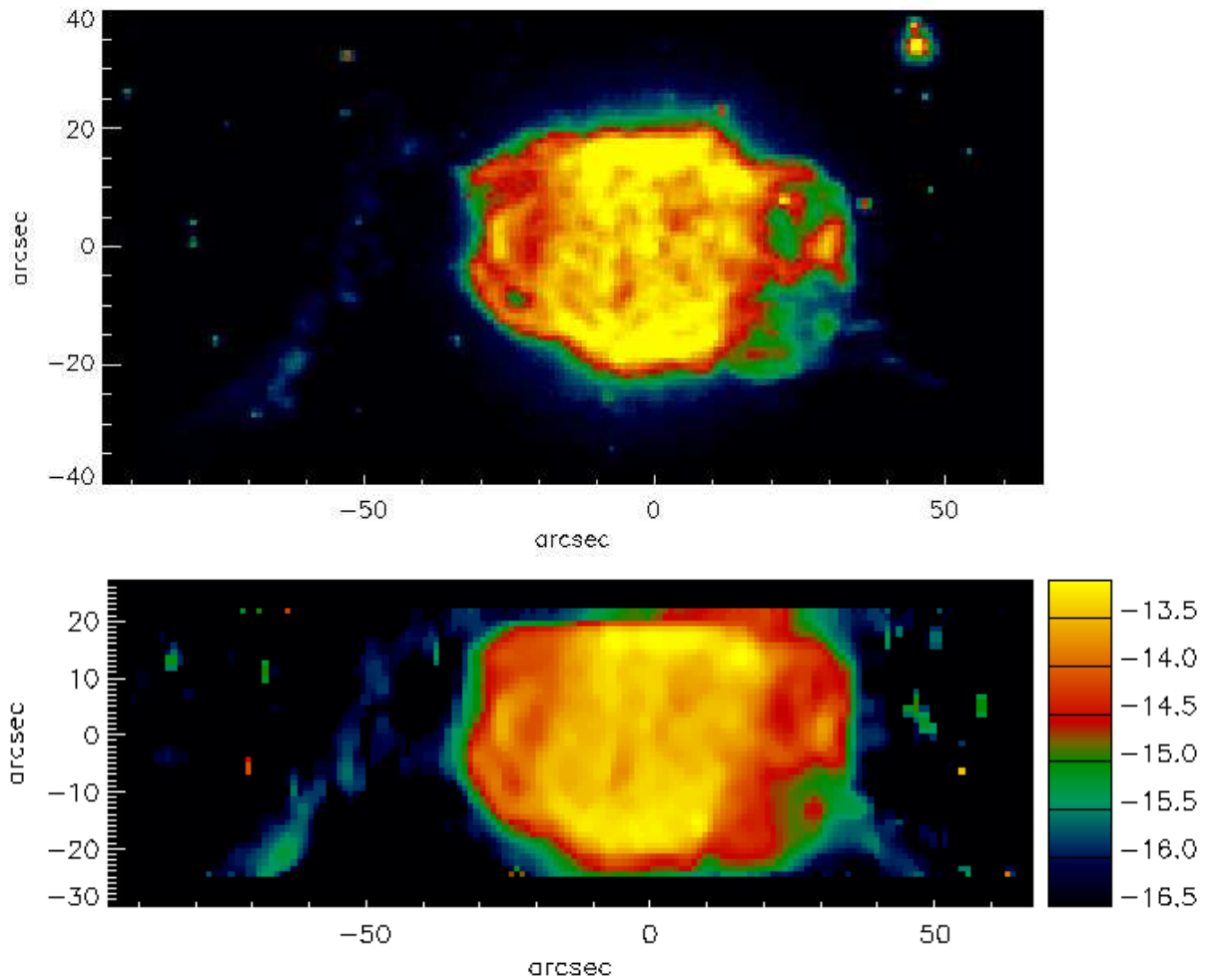


Figura 5.9: Acima: imagem de NGC 40 em $H\alpha$, com resolução próxima a resolução dos mapas espectroscópicos. Abaixo: mapa espectroscópico de fluxo de $H\alpha$ ($erg\ cm^{-2}\ s^{-1}$), não corrigido do efeito de extinção. Em escala logarítmica.

5.2 Parâmetros Físicos

Os mapas de $T_e[N\ II]$, $T_e[S\ II]$ e $N_e[S\ II]$ foram determinados através do uso do ALGORITMO NEBULAR. Para realizar o cálculo de $N_e[S\ II]$, primeiro adotamos, para todos os *pixels*, uma temperatura eletrônica constante e igual a 9.000 K. O mapa espectroscópico resultante foi, então, usado como dado de entrada no cálculo de $T_e[N\ II]$. Em seguida, este foi utilizado como entrada para que o mapa espectroscópico de $N_e[S\ II]$ fosse recalculado, de maneira que, agora, fosse considerado a variação espacial da temperatura eletrônica ao longo do objeto. Finalmente, adotou-se este mapa de $N_e[S\ II]$ como parâmetro de entrada no cálculo do mapa de $T_e[S\ II]$. Os mapas espectroscópicos resultantes, contendo as temperaturas e densidades $T_e[N\ II]$, $T_e[S\ II]$ e $N_e[S\ II]$ de NGC 40 são mostrados na Figura 5.10.

O mapa espectroscópico de $N_e[S\ II]$ apresenta uma grande variação da densidade ao

longo do objeto (aproximadamente de 600 a 3.000 cm^{-3}), sendo a região mais densa aquela localizada nas bordas superiores do eixo menor da nebulosa. Em contrapartida, a zona de mais baixa densidade é justamente a parte interior do *outer shell*, à direita (*SOS*), entre ~ 15 e $+30$ *arcsec*, ao longo do eixo maior, e pouco brilhante em todos os mapas. É importante ressaltar, porém, que esta é uma zona em que a *SNR* é mais baixa e alguns *pixels* escuros desta região têm valor 0 (zero) por conta do corte em *SNR*. A região entre 0 e -20 *arcsec*, na direção do eixo menor da nebulosa, também é muito menos densa do que a região oposta, entre 0 e $+20$ *arcsec*.

O mapa de $T_e[\text{N II}]$ mostra pouca variação de região para região. A temperatura eletrônica na borda entre as regiões do *inner rim* e *outer shell* é um pouco mais elevada do que nas zonas internas.

As médias dos valores dos mapas de $T_e[\text{N II}]$, $T_e[\text{S II}]$ e $N_e[\text{S II}]$ para toda a nebulosa são, respectivamente, 8.950 K, 6.200 K e 1.650 cm^{-3} . Pottasch *et al.* (2003), utilizando dados de várias regiões da nebulosa, encontraram $T_e[\text{N II}] = 7.500$ K e $N_e[\text{S II}] = 2.100$ cm^{-3} . Liu *et al.* (2004a) obtiveram, de dados de uma fenda posicionada ao longo da direção leste-oeste do objeto (região que corresponde, aproximadamente, a zona que atravessa, de -15 a $+15$ *arcsec* no eixo maior, e de -20 a $+20$ no eixo menor), $T_e[\text{N II}] = 8.400$ K e $N_e[\text{S II}] = 1.750$ cm^{-3} . Delgado-Inglada *et al.* (2009), analisando os mesmos dados de Liu *et al.* (2004a), encontraram $T_e[\text{N II}] = 8.600$ K e $N_e[\text{S II}] = 1.800$ cm^{-3} , em bom acordo com os resultados encontrados neste trabalho.

Espera-se que as incertezas associadas aos mapas de $T_e[\text{N II}]$, $T_e[\text{S II}]$ e $N_e[\text{S II}]$ sejam similares às incertezas encontradas para esses parâmetros na Tabela 4.6. Essa suposição é feita porque os mapas destas quantidades foram gerados a partir de dados com as mesmas características que os dados da fenda G, e os cálculos dos mapas de $T_e[\text{N II}]$, $T_e[\text{S II}]$ e $N_e[\text{S II}]$ são análogos aos cálculos feitos para determinar os valores da Tabela 4.6.

Considerando essas incertezas, os valores médios de $N_e[\text{S II}]$ e $T_e[\text{N II}]$ calculados neste trabalho estão de acordo com os valores da literatura. Por outro lado, não foi possível determinar o mapa relativo a $T_e[\text{O III}]$. A razão disso foi a não detecção da emissão da linha $[\text{O III}]$ 4363 Å em nossos dados. Esta não detecção pode ter ocorrido porque o tempo de exposição dos espectros não é alto o suficiente ou devido a uma baixa emissão intrínseca dessa linha em NGC 40. Para casos como esse, há uma vantagem na análise das emissões integradas ao longo de toda uma região já que, através da integração, existe a possibilidade de que a linha se torne mensurável. Um exemplo disso é que, neste trabalho, foi possível determinar $T_e[\text{O III}]$ através da integração das intensidades das regiões NIR e SIR, ao longo da fenda G (ver Tabela 4.6).

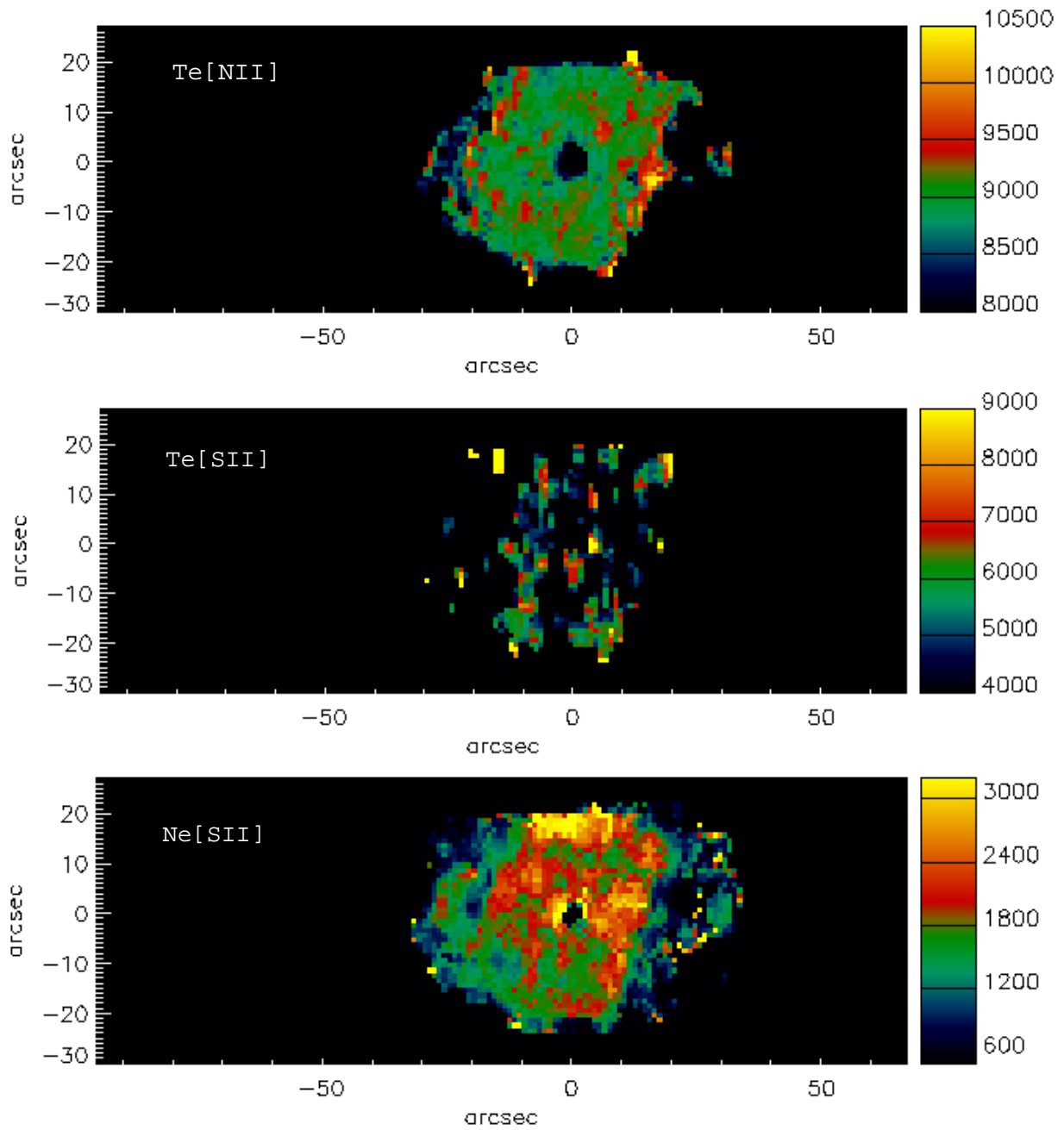


Figura 5.10: De cima para baixo, são apresentados os seguintes mapas espectroscópicos: $T_e[\text{N II}]$, $T_e[\text{S II}]$ e $N_e[\text{S II}]$, em unidades de K e cm^{-3} .

5.3 Parâmetros Químicos

Para o cálculo dos mapas espectroscópicos das abundâncias iônicas¹, adotaram-se $T_e[\text{N II}]$ e $N_e[\text{S II}]$ obtidos na seção anterior como dados de entrada. Quando mais de uma linha de emissão estava disponível para o cálculo de certa abundância iônica, todas as linhas de emissão intensas foram usadas. Cada uma dessas linhas deu origem a um mapa de abundância independente e o resultado final obtido foi o mapa da média ponderada desses mapas independentes. Os mapas finais de abundâncias iônicas são mostrados na Figuras 5.11 (Ar^{3+} , Cl^{++} , He^{++} e O^0) e 5.12 (He^+ , N^+ , O^{++} e S^+). A média de cada um dos mapas de abundâncias químicas calculados é mostrada na Tabela 5.1.

As incertezas das abundâncias de He^+ , mostradas na Tabela 5.1, foram propagadas a partir da relação utilizada para os cálculos:

$$\frac{He^+}{H^+} = \frac{I(\lambda) \times \alpha_{H\beta} \times \lambda}{I(H\beta) \times \alpha_\lambda \times \lambda_{H\beta}}, \quad (5.1)$$

onde α é o coeficiente efetivo de recombinação, definido a partir da relação:

$$\alpha_\lambda = \frac{a_\lambda \times t^{b_\lambda} \times e^{\frac{c_\lambda}{t}}}{h_{planck} \times \frac{c_{luz}}{\lambda \times 10^{-8}}}, \quad (5.2)$$

sendo que os coeficientes a , b e c foram retirados de Benjamin *et al.* (1999). A quantidade t é igual a $T_e \times 10^{-4}$, h_{planck} é a constante de Planck e c_{luz} é a velocidade da luz no vácuo.

Desta forma, a relação de propagação de erros será dada por

$$\sigma_{He^+}^2 = \sigma_{I(\lambda)}^2 \times \left[\frac{\partial(\frac{He^+}{H^+})}{\partial I(\lambda)} \right]^2 + \sigma_{I(H\beta)}^2 \times \left[\frac{\partial(\frac{He^+}{H^+})}{\partial I(H\beta)} \right]^2 + \sigma_{\alpha_{H\beta}}^2 \times \left[\frac{\partial(\frac{He^+}{H^+})}{\partial \alpha_{H\beta}} \right]^2 + \sigma_{\alpha_\lambda}^2 \times \left[\frac{\partial(\frac{He^+}{H^+})}{\partial \alpha_\lambda} \right]^2, \quad (5.3)$$

e as incertezas dos α 's, propagado a partir das incertezas na temperatura eletrônica, será dado por:

$$\sigma_{\alpha_\lambda}^2 = \left[\frac{\sigma_{T_e}}{h_{planck} \times \frac{c_{luz}}{\lambda \times 10^{-8}}} \times (a_\lambda \times b_\lambda \times t^{b_\lambda-1} \times e^{\frac{c_\lambda}{t}} - a_\lambda \times t^{b_\lambda} \times \frac{c_\lambda}{t^2} \times e^{\frac{c_\lambda}{t}}) \right]^2. \quad (5.4)$$

¹Todas as abundâncias, iônicas ou totais, apresentadas no presente trabalho são relativas ao hidrogênio. No restante deste trabalho denotaremos X_i/H^+ como X_i . Exemplo: $O^+/H^+ \equiv O^+$.

Da análise dos mapas, pode-se perceber que existem correlações entre as distribuições iônicas de O^0 , N^+ , S^+ . Uma zona diagonal aos eixos maior e menor, passando pela estrela central é um exemplo de onde essas correlações aparecem. Os íons de potencial de ionização mais baixos – como os 3 listados acima – são menos abundantes nessa região do que nas regiões vizinhas. Por outro lado, a abundância de O^{++} é mais elevada nesta região, quando comparada com as regiões vizinhas.

O mapa espectroscópico de He^+ também indica uma maior concentração deste íon nessa região, apesar de que o He^+ possui um potencial de ionização (24,6 eV) similar àquele do S^+ (23,3 eV). Este fato, à primeira vista controverso, pode ser interpretado como uma decorrência de que a abundância química total de He seja mais elevada nessa região, já que a abundância iônica de He^{++} nesta nebulosa é muito baixa – o que é compatível com o fato de NGC 40 ser um objeto de baixo grau de excitação (Acker *et al.* 2002). Também observa-se uma emissão diferenciada (fraca) das linhas da Série de Balmer nessa região.

Apesar da menor abundância dos íons de potenciais de ionização mais baixos na região discutida acima, não existe nenhum gradiente óbvio nos mapas de densidade e temperatura eletrônicas que justifique este resultado.

Pottasch *et al.* (2003) encontraram que a abundância total de C em NGC 40 é $1,9 \times 10^{-3}$, sendo a abundância de $C^{++} = 9,33 \times 10^{-4}$ e o limite superior da abundância de $C^{3+} = 7,4 \times 10^{-4}$. Este valor de abundância química total de C é compatível com nebulosas Tipo II de Peimbert (1978). Este autor comparou resultados encontrados a partir da linha de recombinação $\lambda 4267 \text{ \AA}$ e das linhas C IV 1549 \AA e C III 1909 \AA e concluiu que os valores típicos para a abundância do C para NP's Tipo II estão entre $6,31 \times 10^{-4}$ e $3,16 \times 10^{-3}$.

Na Figura 5.3 foi apresentado o mapa de emissão da linha de $[C III]+[C IV]$ (4647+58 \AA). Apesar de este não ser um mapa de abundância, ele indica a presença de um “anel” de carbono ao redor da estrela central, como previsto por Bianchi & Grewing (1987). Estes autores sugerem que essa nebulosa contenha uma ‘cortina de carbono’ que seria responsável por esconder a temperatura efetiva real da estrela central.

O mapa de $[C III]+[C IV]$ 4647+58 \AA fornece, então, um indicativo extremamente valioso em relação às investigações de temperatura da estrela central de NGC 40, já que confirma a previsão desses autores. A presença de carbono, que age como um resfriador do gás, possibilita que a nebulosa tenha um gás de baixo grau de ionização, mesmo possuindo uma estrela central com temperatura efetiva elevada – que, no caso de NGC 40, é da ordem de 90.000 K, segundo Feibelman (1999).

As concentrações iônicas de Ar^{3+} e Cl^{++} se encontram mais fortemente na região interna da nebulosa (*inner rim*). Por outro lado, se os resultados encontrados para o N,

Tabela 5.1: Densidades e temperaturas eletrônicas e abundâncias iônicas. Os valores são as médias dos mapas espectroscópicos.

Ion	λ (Å)	Médias	Pottasch <i>et al.</i> (2003)	Liu <i>et al.</i> (2004b)
N_e [S II] (cm^{-3})		1650	2100	1750*
T_e [N II] (K)		8950	7500	8400*
T_e [S II] (K)		6200	–	–
He ⁺	4471	4,86($\pm 0,70$)E-2	4,8E-2	6,1E-2
He ⁺	5876	7,29($\pm 1,21$)E-2	4,4E-2	6,2E-2
He ⁺	6678	5,71($\pm 1,06$)E-2	–	5,9E-2
He ⁺⁺	4686	1,38E-3	–	3,40E-5
N ⁺	5755	2,26E-4	–	–
N ⁺	6548	1,07E-4	1,01E-4	7,58E-5
N ⁺	6583	1,09E-4	–	–
O ⁰	6300	1,58E-5	–	–
O ⁰	6363	1,03E-5	–	–
O ⁺⁺	4959	6,61E-5	–	1,20E-5
O ⁺⁺	5007	6,61E-5	1,9E-5	–
S ⁺	6717	1,18E-6	–	1,24E-6
S ⁺	6731	1,19E-6	1,48E-6	–
Cl ⁺⁺	5517	7,10E-8	5,9E-8	4,19E-8
Cl ⁺⁺	5537	1,04E-7	7,5E-8	–
Ar ³⁺	4711	4,97E-7	–	–

*Os valores de N_e [S II] e T_e [N II] citados na última coluna foram calculados por Liu *et al.* (2004a)

O e S são válidos para toda a extensão dos mapas, isto é, não são artefatos de temperaturas eletrônicas mal calculadas nas regiões externas (como será discutido na próxima seção), eles indicam maiores abundâncias desses 3 elementos na região que denominamos de *outer shell*.

Na maioria dos casos, os valores médios dos mapas das abundâncias iônicas encontradas neste trabalho diferem em menos de 50% dos resultados encontrados por Pottasch *et al.* (2003), que utilizaram os dados de Aller *et al.* (1972), Aller & Czyzak (1979) e Clegg *et al.* (1983). A maior diferença entre os nossos resultados e os desses autores se refere à abundância iônica de O⁺⁺, calculada a partir da linha de emissão de 5007 Å. Pottasch *et al.* (2003) encontraram um resultado quase 3,5 vezes menor do que o resultado que encontramos. A abundância de O⁺⁺ determinada por Delgado-Inglada *et al.* (2009) para NGC 40, a partir de uma fenda longa posicionada ao longo da direção leste-oeste do objeto, é ainda menor do que aquela encontrada por Pottasch *et al.* (2003); $1,17 \times 10^{-5}$.

Quando comparamos os resultados médios dos mapas com os resultados da fenda G, listados na Tabela 4.4 também encontramos algumas discrepâncias. As abundâncias de O⁰, S⁺ e Cl⁺⁺ não são muito diferentes, por outro lado, a abundância média de O⁺⁺ dos mapas espectroscópicos é aproximadamente o dobro, e a abundância média de N⁺ chega

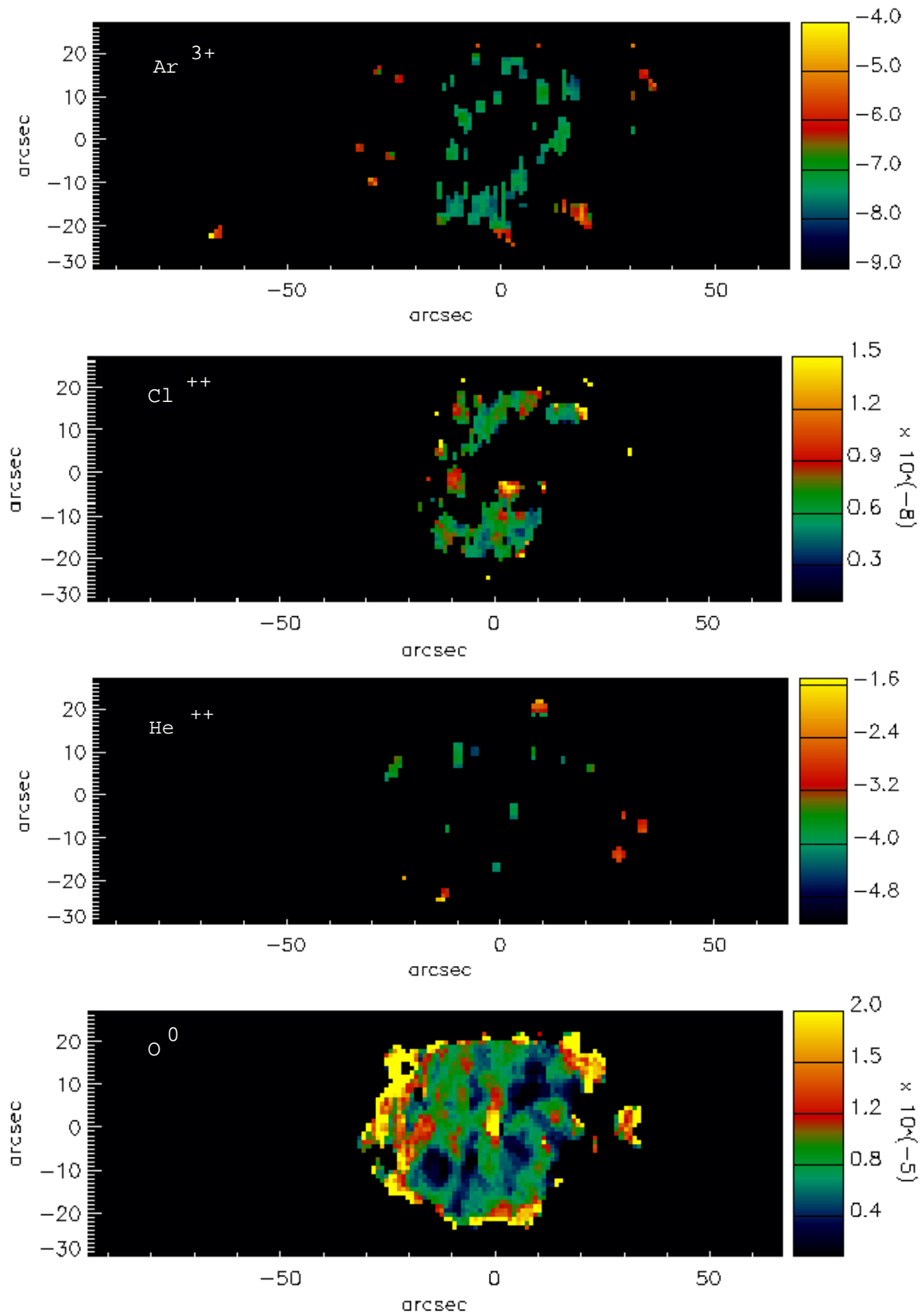


Figura 5.11: De cima para baixo, os seguintes mapas espectroscópicos de abundância iônica são apresentados: Ar^{3+} , Cl^{++} , He^{++} e O^0 . Os mapas relativos ao Ar^{3+} e ao He^{++} são apresentados em escala logarítmica; os demais em escala linear.

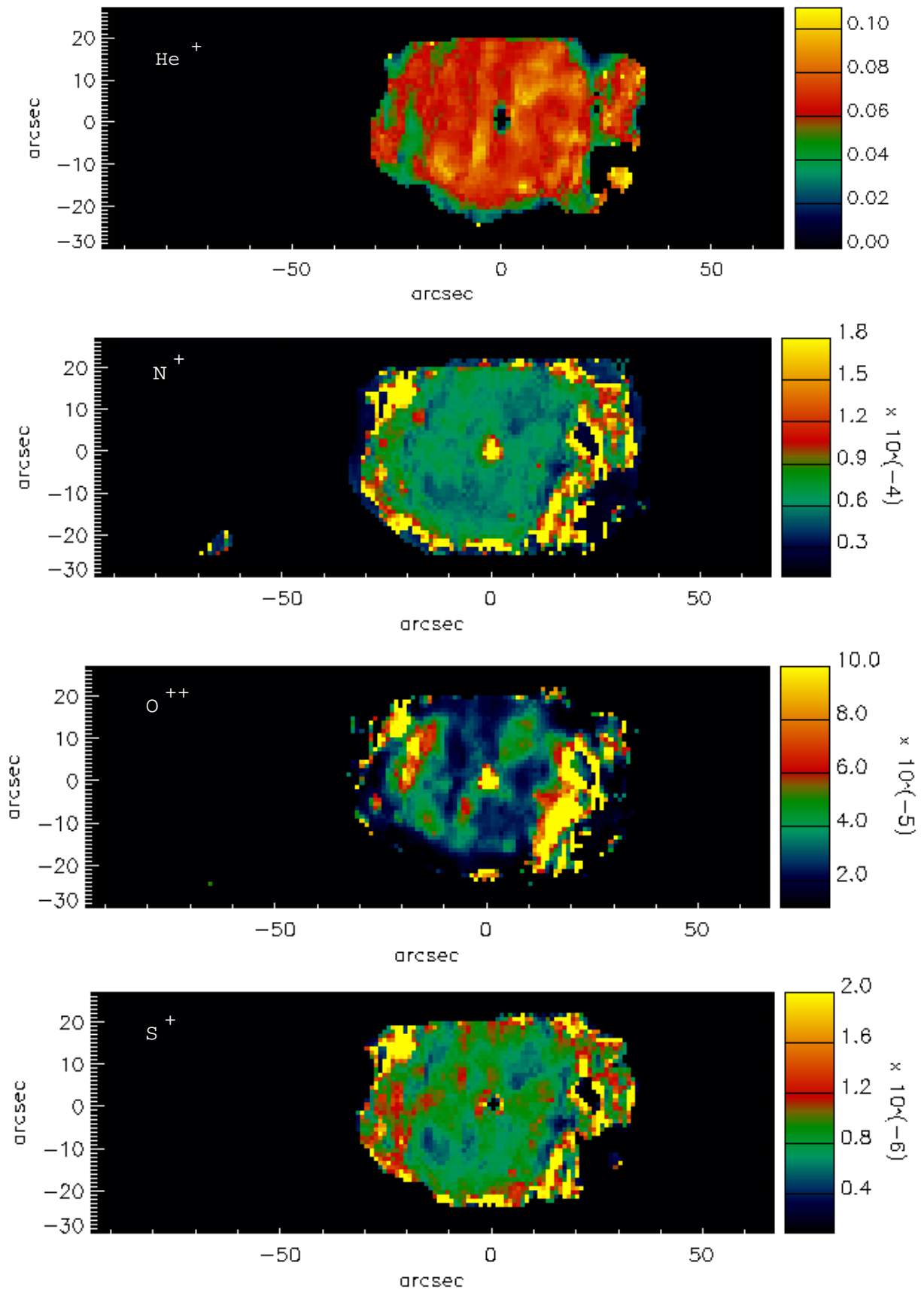


Figura 5.12: De cima para baixo, os seguintes mapas espectroscópicos de abundância iônica são apresentados: He⁺, N⁺, O⁺⁺ e S⁺. Todos os mapas estão em escala linear.

a ser 70% maior do que o valor encontrado pela análise da fenda G.

Essas grandes diferenças entre nossos resultados e a literatura, para o O^{++} , e entre os mapas espectroscópicos e os resultados da fenda G, para o N^+ , serviram de motivação para que os mapas de abundâncias desses íons fossem recalculados. A seção 5.4 discute este procedimento em detalhe.

Outra diferença significativa encontrada, entre os resultados da fenda G e dos mapas espectroscópicos, foi para a abundância de Ar^{3+} . Para este caso, a justificativa proposta é o padrão de super-abundância encontrada para esta espécie, na região mais externa do objeto. É possível notar, pelo mapa apresentado na Figura 5.11, que a abundância de Ar^{3+} na região do *inner rim* é compatível com os resultados apresentados na Tabela 4.4.

A Figura 5.13 apresenta um mapa que corresponde ao limite inferior da abundância total de oxigênio. Este mapa foi obtido através da soma dos mapas de abundâncias iônicas de O^0 e O^{++} ; únicas espécies iônicas do O para as quais os mapas espectroscópicos de abundâncias puderam ser determinados com nossos dados. O valor médio encontrado para o limite inferior de abundância total do oxigênio é $7,65 \times 10^{-5}$. Pottasch *et al.* (2003) encontraram que a abundância total do O para NGC 40 é $5,3 \times 10^{-4}$. Essa grande diferença é, principalmente, devida a alta abundância de O^+ , que não foi contabilizada no mapa da Figura 5.13. Segundo Pottasch *et al.* (2003), a abundância de O^+ , calculada a partir da linha de emissão 3727 \AA , é $5,0 \times 10^{-4}$ para esta nebulosa.

Também obtivemos o mapa espectroscópico de abundância total de He. Este mapa, mostrado na Figura 5.14, pouco difere do mapa de abundância iônica de He I. Isso ocorre porque a abundância iônica de He^{++} é muito baixa para esta nebulosa, conforme pode ser visto na Figura 5.11, na qual não aparece nenhuma estrutura bem definida, como ocorre nos mapas das outras espécies. O valor médio do mapa de abundância total de He é $6,63(\pm 1,35) \times 10^{-2}$, valor idêntico ao valor médio do mapa de abundância de He I. Pottasch *et al.* (2003) calcularam que o limite inferior para a abundância de He, para este objeto, é $4,6 \times 10^{-2}$, enquanto que Liu *et al.* (2004b) encontraram que a abundância de He^+ é $6,2 \times 10^{-2}$.

Note que a média da abundância química total de He encontrada é menor do que os valores característicos deste elemento para quaisquer das classes de NP's, segundo a classificação de Peimbert (1978). Mesmo com base em uma classificação mais recente (Quireza *et al.* 2007), também é possível notar a baixa abundância de He de NGC 40. Segundo esses autores, as nebulosas Tipo IIb possuem abundância de He menor que 0,125. Apesar de eles não estipularem um valor mínimo, o valor da abundância de NGC 40 é muito abaixo do limite superior para esses objetos. Isso denota claramente um déficit de He em NGC 40 quando comparada com outras nebulosas planetárias. Em termos comparativos, valores típicos da abundância primordial de He, em relação à massa, são 0,2391 (Luridiana *et al.* 2003) e 0,2477 (Peimbert *et al.* 2007). Convertendo esses valores para número de átomos, obtém-se que a abundância primordial do Helio deve estar entre 0,060

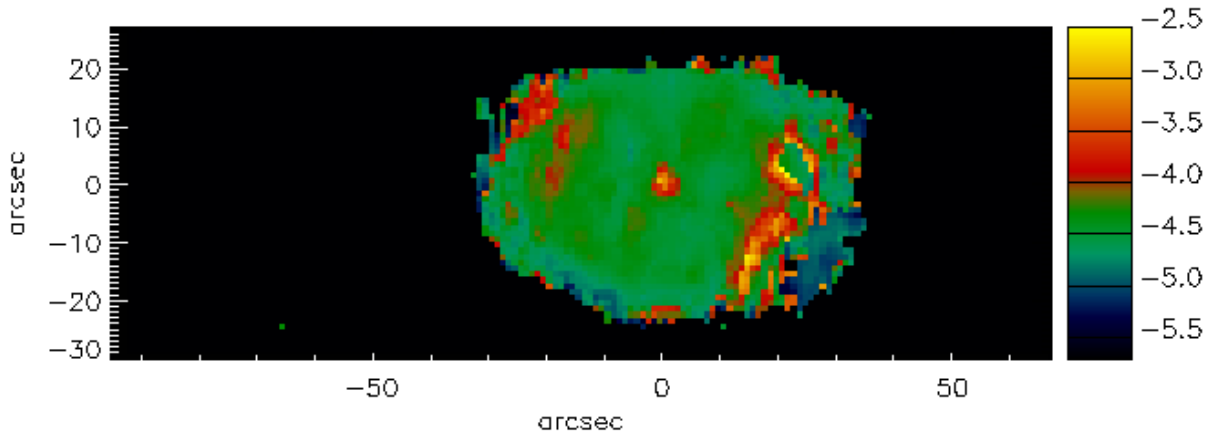


Figura 5.13: Mapa espectroscópico do limite inferior da abundância total de oxigênio, mostrado em escala logarítmica.

e 0,062. Ou seja, a abundância média calculada para NGC 40 neste trabalho, mesmo sendo superior aos valores encontrados por Pottasch *et al.* (2003) e Liu *et al.* (2004b), é apenas $\sim 0,005$ superior a abundância primordial. Note que, mesmo se analisarmos a abundância média de He obtida a partir da emissão em 5876 \AA – resultado este que foi o maior obtido, dentre as linhas analisadas –, e tomarmos o limite superior do resultado, dentro da margem de incerteza ($7,29 + 1,21$), ainda assim, a abundância de He deste objeto é inferior às abundâncias típicas da classificação de Peimbert (1978).

Não se espera que, para esta nebulosa, a abundância média total de N seja muito mais alta do que a abundância iônica de N^+ , já que este objeto tem um baixo grau de excitação. Baseado neste fato e no resultado obtido de que a abundância total de N é maior que $1,1 \times 10^{-4}$ (limite inferior; Tabela 5.1), a nebulosa planetária NGC 40 apresenta uma abundância de N característica de um objeto Não-Tipo I. Esta classificação não concorda com Feibelman (1999) que afirma que NGC 40 é um objeto classificado como Tipo I, rico em He e N. Por outro lado, Perinotto (1991) e Maciel & Dutra (1992) investigaram e classificaram grandes amostras de nebulosas planetárias (209 e 150, respectivamente), de acordo com os critérios de Peimbert (1978), e apontam NGC 40 como um objeto Não-Tipo I, o que concorda com os nossos resultados.

5.4 Reavaliação das Zonas de Baixa Razão Sinal-Ruído

As grandes diferenças entre nossos resultados e a literatura, para o O^{++} , e entre os mapas e os resultados da fenda G, para o N^+ , exigem uma análise mais detalhada, como será feita a seguir. A análise dos mapas de abundâncias de N^+ , S^+ , O^0 e O^{++} forneceu indicativos de qual poderia ser o motivo dessas grandes discrepâncias.

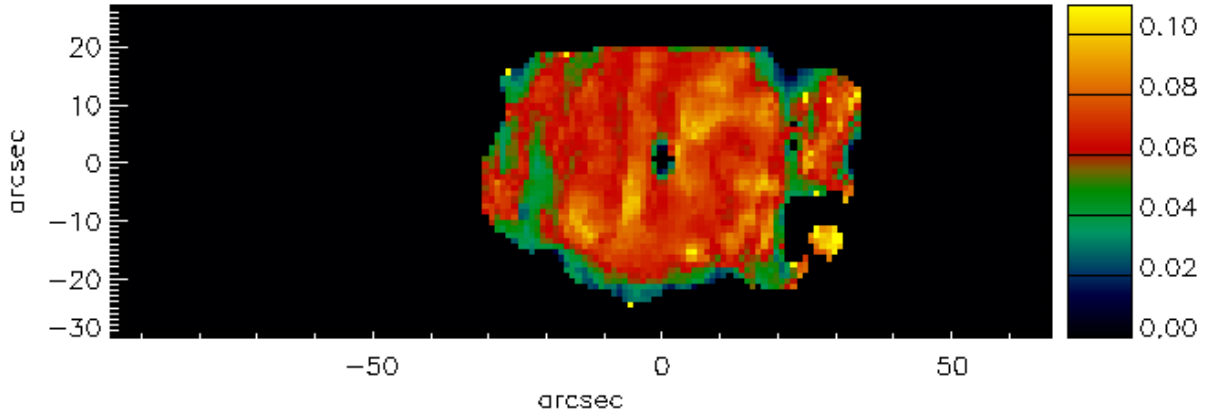


Figura 5.14: Mapa espectroscópico da abundância total de He, mostrado em escala linear.

Notou-se que havia um padrão de valores elevados para as abundâncias desses íons em zonas nas quais a SNR da linha de emissão 5755 \AA é inferior a 7,0 (valor de corte adotado para o mapa desta linha). Sendo esta linha a de menor SNR entre aquelas utilizadas no cálculo de $T_e[\text{N II}]$, a determinação da temperatura eletrônica fica comprometida nas zonas onde a SNR dessa linha é baixa. Nos propusemos, então, a recalculamos os mapas espectroscópicos das abundâncias iônicas, de maneira a evitar este problema. Para realizar esta análise, adotou-se uma temperatura eletrônica constante ($T_e = 8.950 \text{ K}$, referente ao valor médio de T_e encontrado a partir do mapa de $T_e[\text{N II}]$) para toda a extensão da nebulosa.

A Figura 5.15 apresenta o mapa de $T_e[\text{N II}]$ antes da aplicação do corte em SNR e o mapa da SNR da linha 5755 \AA . Note que a escala do mapa de $T_e[\text{N II}]$ apresentado nesta figura não é a mesma que a escala da Figura 5.10. Além disso, os *pixels* que não convergiram (e têm valor superiores a 11.000 K) aparecem em amarelo. No mapa da SNR da linha 5755 \AA , toda a região amarela indica os *pixels* onde a emissão desta linha é maior ou igual a 7,0. Note, em comparação com os mapas apresentados nas Figuras 5.11 e 5.12, a correspondência entre a superabundância de N^+ , S^+ , O^0 , O^{++} nas zonas onde a SNR de 5755 \AA é inferior a 7,0.

As Figuras 5.16 e 5.17 apresentam os mapas de abundâncias iônicas recalculados para todas as espécies estudadas. Note que as escalas dos mapas das abundâncias de Ar^{3+} , N^+ e S^+ não são as mesmas daquelas dos mapas apresentados nas Figuras 5.11 e 5.12. Os valores das médias dos mapas de N^+ e O^{++} são, respectivamente, $4,17 \times 10^{-5}$ e $2,09 \times 10^{-5}$. De fato, para o mapa recalculado de O^{++} , o valor médio é bem próximo ao valor encontrado por Pottasch *et al.* (2003) ($1,9 \times 10^{-5}$) e Liu *et al.* (2004b) ($1,2 \times 10^{-5}$). Quanto ao mapa recalculado da abundância de N^+ , sua média é mais próxima aos valores encontrados pela análise da fenda G. Por outro lado, este valor não é tão próximo à abundância encontrada por Pottasch *et al.* (2003).

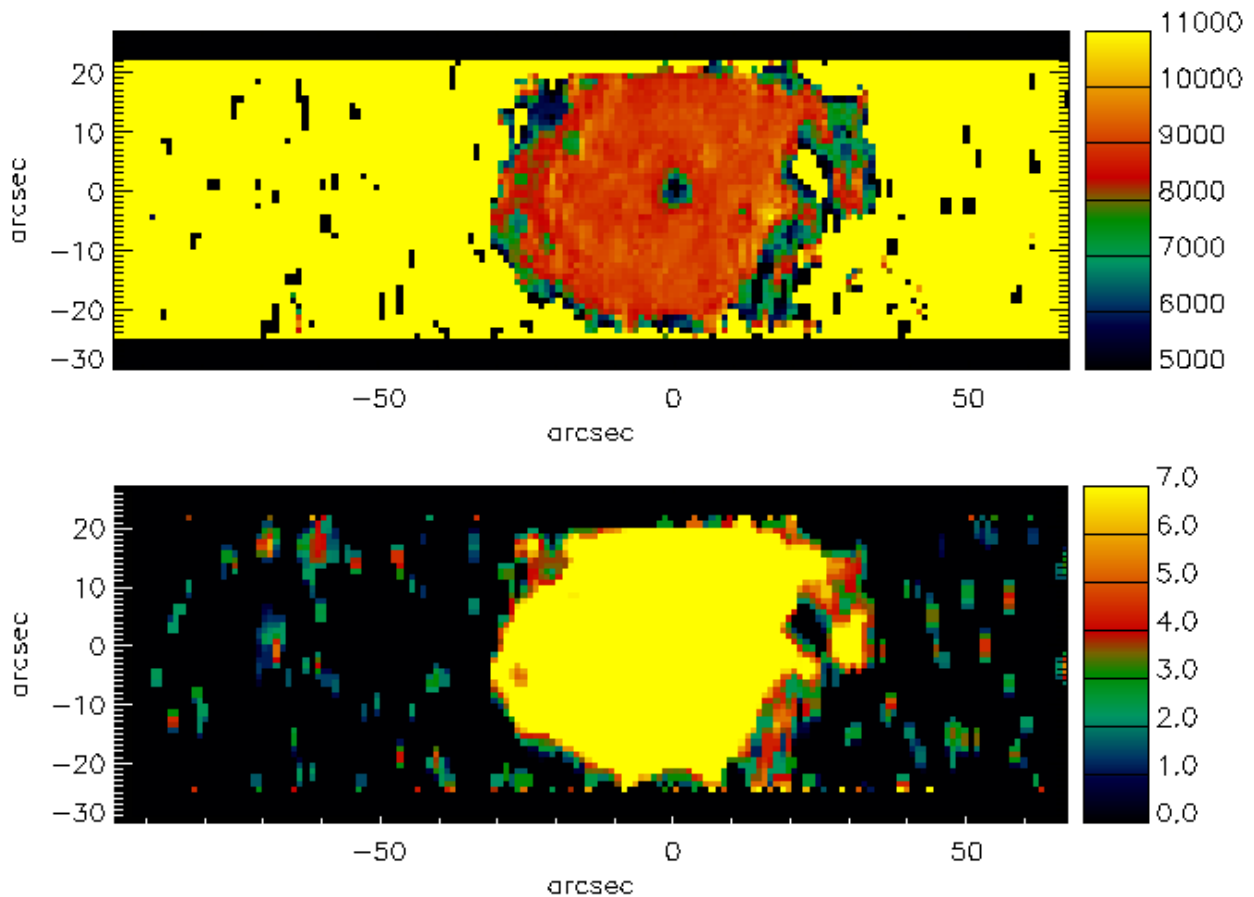


Figura 5.15: Distribuição da SNR da linha de emissão 5755 \AA ao longo da região de NGC 40.

Note ainda que, supondo que as variações espaciais de T_e sejam reais, os resultados indicam que a análise através de valores médios não mostra variações espaciais relevantes das abundâncias químicas, já que os mapas espectroscópicos recalculados são significativamente diferentes dos mapas espectroscópicos correspondentes, calculados a partir de uma T_e constante. Este resultado destaca a importância de que T_e esteja bem definida para todas as regiões do objeto.

Da análise da variação espacial dos mapas recalculados, não se observa, nos mapas de N^+ e S^+ , o excesso de abundância nas regiões mais externas. Porém, as maiores concentrações de O^0 ainda são no *outer shell*, e as maiores concentrações de O^{++} estão localizadas na fronteira entre o *inner rim* e o *outer shell* (a aproximadamente -20 e $+20 \text{ arcsec}$ da estrela central, na direção do eixo maior). O mapa de abundância de Ar^{3+} mostra que, mais uma vez, altas concentrações desta espécie estão presentes em regiões compactas, localizadas na zona mais externa da nebulosa. Por outro lado, este mapa apresenta menores valores das abundâncias de Ar^{3+} para a nebulosa como um todo (a média dos valores deste mapa é $4,68 \times 10^{-7}$).

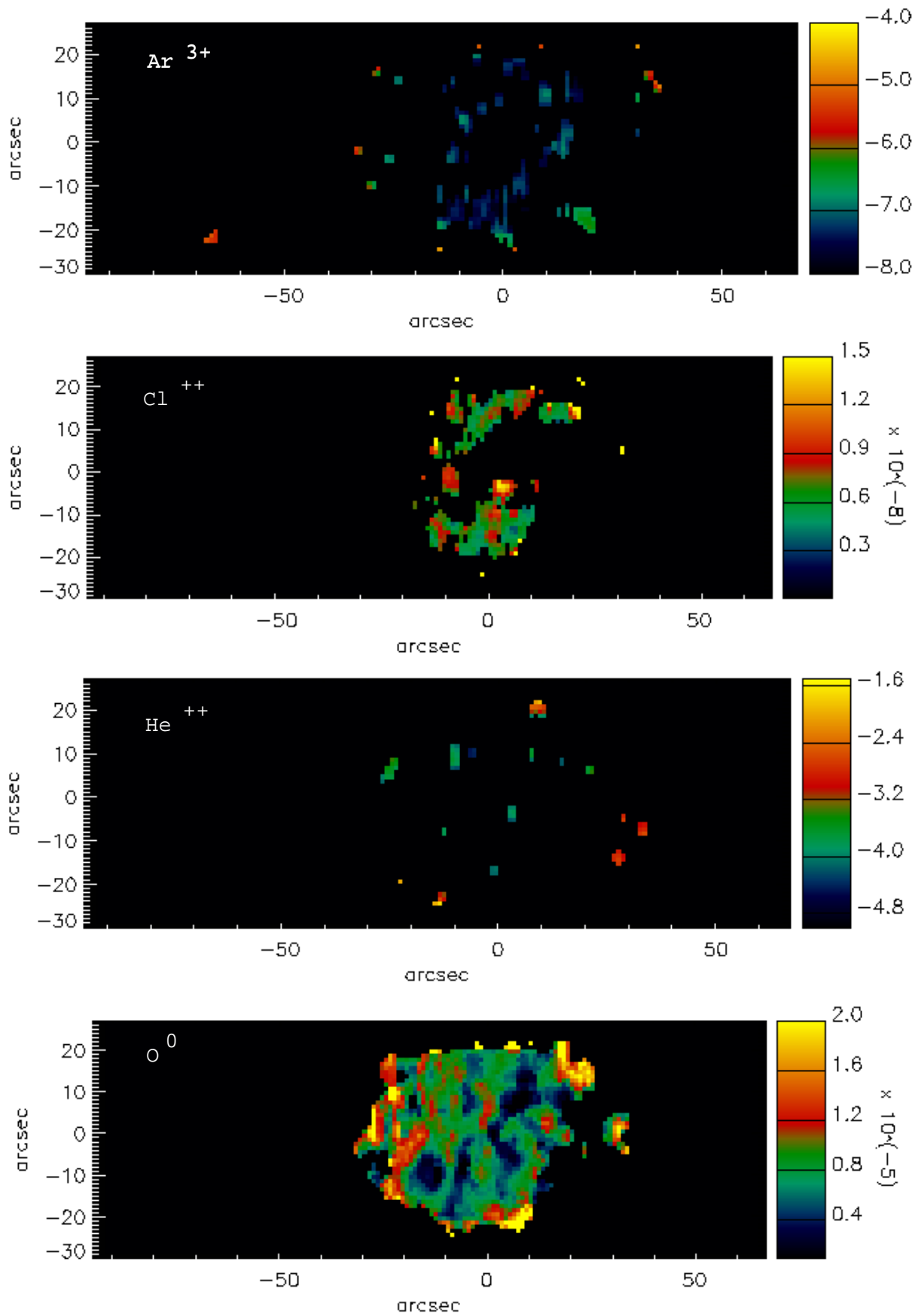


Figura 5.16: De cima para baixo, são apresentados os seguintes mapas de abundâncias iônicas, calculados para uma T_e constante de 8950 K: Ar^{3+} , Cl^{++} , He^{++} e O^0 .

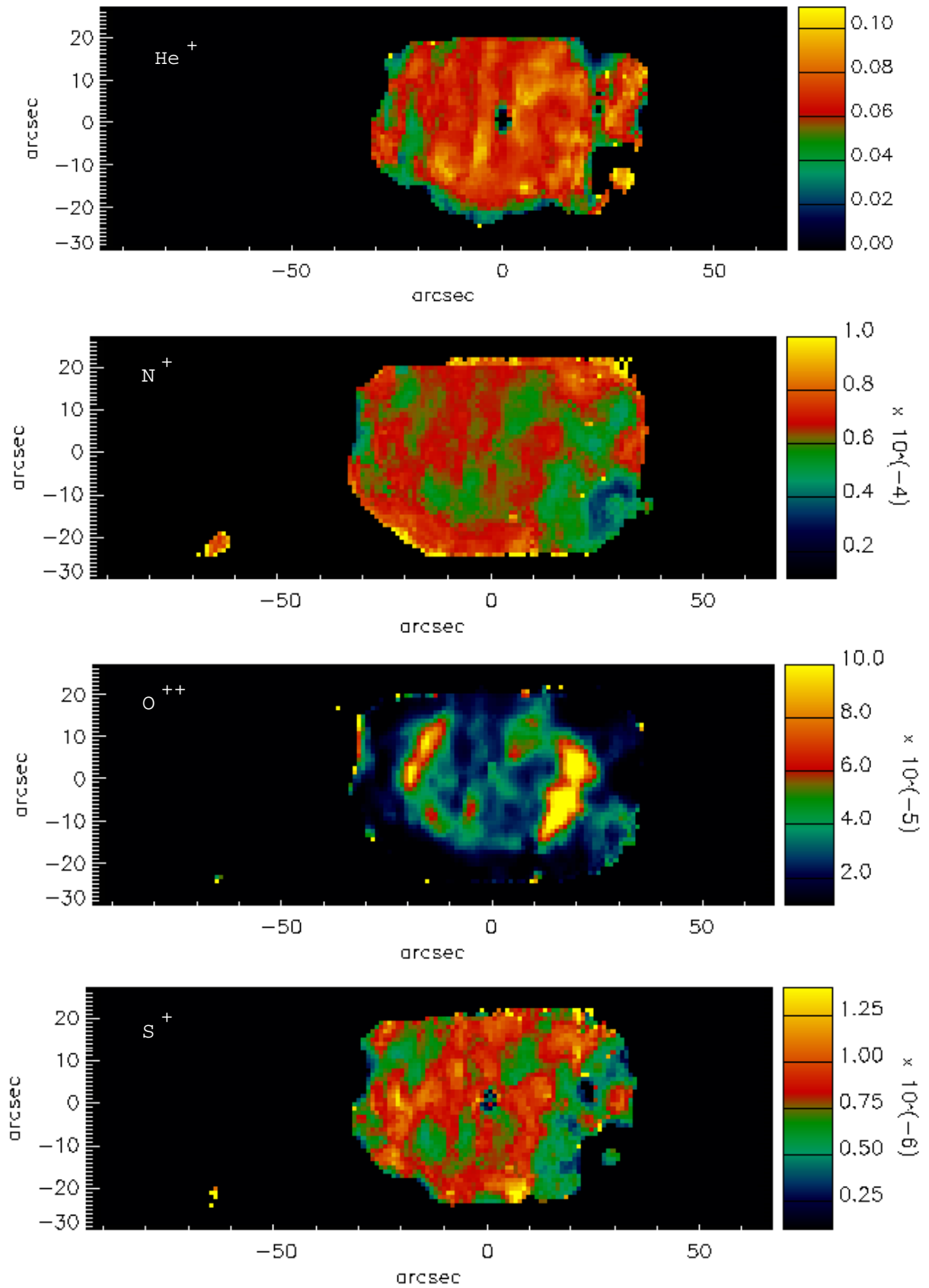


Figura 5.17: De cima para baixo, são apresentados os seguintes mapas de abundâncias iônicas, calculados para uma T_e constante de 8950 K: He^+ , N^+ , O^{++} e S^+ .

Foram apresentados e discutidos, neste capítulo, os mapas dos parâmetros físicos e químicos da nebulosa planetária NGC 40. O próximo capítulo apresenta o resultado geral da análise dos mapas espectroscópicos construídos nesta dissertação e aponta os próximos objetivos a serem alcançados.

Capítulo 6

Considerações Finais

6.1 Conclusões

Para esta dissertação, cujo objetivo foi estudar as propriedades físico-químicas de NGC 40, obtivemos 16 espectros ópticos de fenda longa, com resolução espectral intermediária. Estes espectros foram utilizados para gerar 31 mapas espectroscópicos, a partir da técnica de mapeamento espectroscópico. Dos mapas de emissão de linha, desta forma obtidos, utilizamos 21 para a análise dos parâmetros de interesse da nebulosa.

Os principais resultados que obtivemos dos mapas espectroscópicos das linhas de emissão são destacados a seguir.

– A presença de uma ‘cortina de carbono’ na vizinhança da estrela central, conforme previsto por Bianchi & Grewing (1987). O mapa das linhas de emissão [C III]+[C IV] (4652 Å) corrobora esta previsão. Este resultado explicaria a coexistência do gás de baixo grau de ionização com a estrela central de alta temperatura efetiva.

– Além dos valores médios¹ para o coeficiente de extinção ($c_{H\beta}=0,44_{0,05}^{1,60}$), densidade ($N_e[\text{S II}]=1.650_{400}^{3.800} \text{ cm}^{-3}$) e temperatura ($T_e[\text{N II}]=8.950_{7.500}^{10.500} \text{ K}$) eletrônicas e abundâncias químicas, também investigamos as suas variações espaciais nestes mapas, como nota-se pelas dispersões. O mapa de $T_e[\text{N II}]$ apresenta uma variação espacial menos significativa, já que poucas zonas da nebulosa apresentam valores que fogem à média.

– As médias dos valores dos mapas de N_e , T_e e abundâncias iônicas são consistentes com os resultados da literatura (Delgado-Inglada *et al.* 2009, Liu *et al.* 2004a, Pottasch *et al.* 2003, Clegg *et al.* 1983, Aller *et al.* 1972). Por outro lado, os mapas espectroscópicos dos parâmetros físicos e químicos mostram variações espaciais não presentes nos demais trabalhos. Portanto, a técnica de mapeamento espectroscópico fornece informações mais completas do que nos estudos usuais – baseados em uma ou duas fendas, geralmente alinhadas com os eixos principais do objeto – que podem não representar as propriedades reais da nebulosa em todas as regiões.

¹Os valores subscritos e superescritos indicam os mínimos e máximos presentes nos mapas espectroscópicos.

– Os valores das abundâncias químicas variam de uma para outra região da nebulosa.

i) Os mapas das abundâncias iônicas de Ar^{3+} e Cl^{++} apresentam claramente uma estrutura em forma de anel na zona interna da nebulosa. Por outro lado, o mapa de abundância de Ar^{3+} também indica que altas concentrações desta espécie estão presentes em pequenas zonas, mais externas, resultado este só acessível em análises com resolução espacial. ii) Os mapas das espécies iônicas O^0 e O^{++} mostram grandes variações espaciais ao longo de NGC 40, mesmo quando uma temperatura eletrônica constante foi adotada para o cálculo. As maiores concentrações destas espécies estão localizadas, respectivamente, no *outer shell* e na fronteira entre o *inner rim* e o *outer shell*. iii) A abundância de He^+ também é não-homogênea de região para região. Se também consideramos a abundância total de He, que tem o mesmo comportamento, isto indica que o enriquecimento de hélio no meio circumstelar, dado pela nucleossíntese da estrela progenitora, não ocorre de forma homogênea. É importante lembrar, porém, que os mapas representam a projeção da nebulosa no céu. Desta maneira, é necessário criar modelos tridimensionais desta NP para que esta previsão seja melhor analisada. iv) As abundâncias de S^+ e N^+ apresentam variações significativas, tanto quando calculadas com os mapas espectroscópicos de temperatura ($T_e[\text{N II}]$) quanto com T_e constante, sendo muito mais proeminentes no primeiro caso.

– Como visto acima destacamos a importância de se ter temperaturas eletrônicas bem definidas para todas as zonas da nebulosa – mapas de temperatura – para uma análise química mais satisfatória.

Estes resultados nos permitem concluir que as variações espaciais encontradas nos mapas de extinção, densidade e temperatura eletrônicas, bem como nos de abundâncias químicas, confirmam a necessidade de análises com resolução espacial para um estudo mais completo das propriedades físico-químicas das nebulosas planetárias.

- As técnicas desenvolvidas neste trabalho mostraram-se em vantagem em relação a análise usual, já que a partir da investigação de apenas poucas fendas longas, Corradi *et al.* (1997), Perinotto & Corradi (1998), Gonçalves *et al.* (2003) e Gonçalves *et al.* (2006) não encontraram variações espaciais significativas de abundâncias químicas em outros objetos, e essas variações foram encontradas no presente trabalho para NGC 40.
- Resta saber se, analisadas com o método aqui desenvolvido e aplicado a NGC 40, as, em torno de 20, NP's estudadas quimicamente com resolução espacial (fenda longa) apresentariam ou não variações espaciais significativas.
- É importante salientar que, excetuando-se o caso do He, todas as demais abundâncias que obtivemos são somente iônicas.

- Adicionalmente, resultados preliminares para outra NP (NGC 3242) obtidos de dados *IFU*, do *VLT* (*Very Large Telescope*), também demonstram que existe não-homogeneidade no mapa de abundância de He, assim como encontrado para NGC 40 neste trabalho.

Finalmente, concluímos que os resultados mostram, inequivocamente, o potencial da técnica de mapeamento espectroscópico e dos algoritmos desenvolvidos para este tipo de análise.

6.2 Perspectivas

O mapeamento espectroscópico dos parâmetros físico-químicos de NGC 40 permitiu interpretações dentro dos contextos da (i) importância de análises espacialmente resolvidas, (ii) da evolução desta nebulosa planetária e (iii) de sua interação com o meio interestelar. Porém, a relevância deste trabalho não se restringe apenas a estes resultados destacados na seção anterior.

Um estudo ainda mais completo, de NGC 40, pode ser realizado através da construção de um modelo deste objeto. Em colaboração com os doutores Diego Falceta-Gonçalves e Hektor Monteiro, está sendo construído um modelo que aborda tanto a hidrodinâmica quanto a fotoionização desta nebulosa planetária. Estes modelos são tridimensionais e deverão reproduzir bem as características mapeadas no presente trabalho. A seguir, descreve-se, resumidamente, cada uma dessas abordagens.

A modelagem hidrodinâmica é baseada na Teoria dos Ventos Interagentes, na qual o vento rápido e tênue interage com o vento lento, mais denso. Para o caso esfericamente simétrico, esta modelagem é muito bem entendida mas, como visto anteriormente, nem todas as NP's são esfericamente simétricas. As morfologias das nebulosas são influenciadas pela evolução da distribuição de massa do envoltório da *AGB* e de propriedades do vento rápido (Icke *et al.* 1992). Exemplos de outros mecanismos que podem influenciar a morfologia de uma nebulosa planetária são a presença de jatos lançados pela estrela central ou por sua estrela companheira (Akashi & Soker 2008) e a existência de campos magnéticos (Garcia-Segura *et al.* 2005).

O modelo hidrodinâmico de NGC 40 tem por objetivo, então, representar as interações entre os ventos desta nebulosa, de modo a fornecer a distribuição de densidade da matéria que compõe a nebulosa. A geometria tridimensional dada por este modelo, quando projetada, deve representar bem a estrutura observada do objeto. Esta geometria e sua distribuição de densidade, obtidas da modelagem hidrodinâmica, serão utilizadas como parâmetro de entrada na construção do modelo de fotoionização, que será realizado através do programa *MOCASSIN* (*Monte Carlo Simulations of Ionized Nebulae*; Ercolano *et al.* 2003).

Modelos de fotoionização simulam a estrutura de ionização do gás nebuloso e suas emissões. As emissões de linhas, quando projetadas no céu, serão comparadas com os mapas espectroscópicos das linhas de emissão gerados neste trabalho. A consistência entre os mapas espectroscópicos e sintéticos confirma a robustez do modelo. Caso os mapas observados e sintéticos não sejam suficientemente equivalentes, é necessário construir novos modelos, até que a modelagem reproduza bem o que foi observado.

Através do modelo de fotoionização tem-se acesso a diversos parâmetros do objeto.

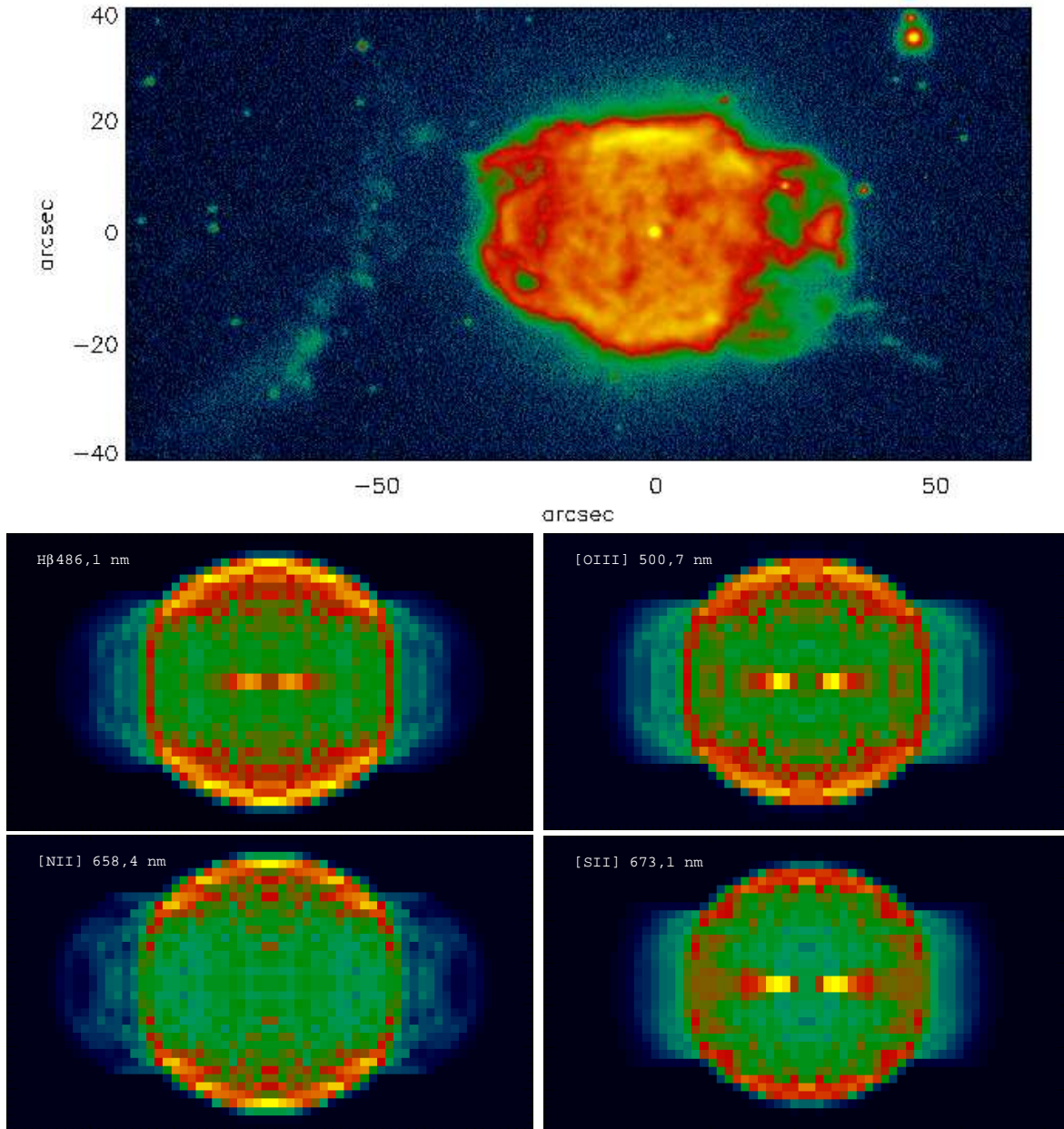


Figura 6.1: Resultados preliminares dos mapas sintéticos (oriundos da modelagem hidrodinâmica e de fotoionização 3D) de NGC 40, comparados com a imagem H α desta nebulosa. Acima é mostrada a imagem H α , abaixo desta, no sentido horário, são apresentados os mapas de emissão H β 4861 Å, [O III] 5007 Å, [S II] 6731 Å e [N II] 6584 Å.

Alguns desses parâmetros são fornecidos como entrada na construção do modelo — temperatura, luminosidade e gravidade da estrela central, geometria tridimensional do gás, raios interno e externo do gás, densidade de H do gás, natureza dos grãos de poeira e abundâncias químicas — e, sendo a modelagem do objeto satisfatória, devem descrever bem a realidade do objeto. Outros parâmetros são obtidos como dados de saída. O conjunto dos parâmetros de entrada e de saída do objeto fornecem informações que descrevem detalhadamente as características da nebulosa modelada.

A Figura 6.1 apresenta, de maneira ilustrativa, alguns resultados preliminares gerados pela modelagem de NGC 40, e os compara com a imagem $H\alpha$ desta nebulosa. São mostrados os mapas sintéticos da emissão de $H\beta$, $[O\ III] 5007\ \text{Å}$, $[N\ II] 6584\ \text{Å}$ e $[S\ II] 6731\ \text{Å}$. Estes mapas ainda não estão calibrados em fluxo.

Juntos, os resultados do presente trabalho e os modelos hidrodinâmicos e de fotoionização fornecerão um quadro bastante completo de NGC 40. Além da distribuição projetada dos parâmetros físicos e químicos, obteremos então, a distribuição tridimensional da matéria e da estrutura de ionização e outras informações, como: características da estrela central (temperatura, luminosidade e gravidade), abundâncias químicas e a emissão do objeto em todo o espectro eletromagnético.

Ademais, a modelagem também será usada para outro objetivo. Através do espectro sintético, que engloba todo o espectro eletromagnético, novas *ICF's* poderão ser desenvolvidas, conforme sugerido, por exemplo, em Gonçalves *et al.* (2006). *ICF's* com boas precisões são fundamentais no estudo da química, não apenas de nebulosas planetárias, mas também de outros objetos nebulares como, por exemplo, regiões H II. Conseqüentemente, o desenvolvimento de boas *ICF's* está diretamente atrelado ao estudo da evolução química da Galáxia e do Universo Local (Stanghellini *et al.* 2004, Barlow & Méndez 2006).

Finalmente, destacamos o potencial da técnica desenvolvida e utilizada neste trabalho. Os algoritmos construídos poderão ser utilizados na análise de outros objetos também observados através de fendas longas paralelas, com resolução espacial. Dados deste tipo, para NGC 2022, também observados pelos doutores Hugo Schwarz e Hektor Monteiro estão disponíveis e os analisaremos futuramente. Outro tipo de dados com resolução espacial, como aqueles estudados por Tsamis *et al.* (2008) (dados espectroscópicos de *IFU*), também poderão se utilizar destes algoritmos. Nosso grupo possui dados *IFU*, do *VLT*, para quatro nebulosas. A primeira delas, NGC 3242, já está sob processo de análise, com a utilização das ferramentas desenvolvidas nesta dissertação de mestrado.

Referências Bibliográficas

- Acker A., Gesicki K., Grosdidier Y., Durand S., 2002, *A&A*, 384, 620
- Akashi M., Soker N., 2008, *MNRAS*, 391, 1063
- Aller L. H., Czyzak S., Buerger E., Paul L., 1972, *ApJ*, 172, 361
- Aller L. H., Czyzak S., 1979, *Ap&SS*, 62, 397
- Aller L. H., 1984, *Physics of Thermal Gaseous Nebulae*, Springer
- Balick B., Owen R., Bignell C. R., Hjellming R. M., 1987, *AJ*, 94, 948
- Balick B., Perinotto M., Maccioni A., Alexander J., Terzian Y., Hajian A. R., 1994, *ApJ*, 424, 800
- Balick B., Frank A., 2002, *ARA&A*, 40, 439
- Barlow M. J., Méndez R. H., 2006, *Anais de International Astronomical Union, Symposium #234, Planetary Nebulae in our Galaxy and Beyond*
- Benjamin R., Skillman E., Smits D., 1999, *ApJ*, 514, 307
- Benvenuti P., Perinotto M., Willis A. J., 1981, *IAUS*, 99, 453
- Bianchi L., Grewing M., 1987, *A&A*, 181, 85
- Bianchi L., 1992, *A&A*, 253, 447
- Cardelli J., Clayton G., Mathis J., 1989, *ApJ*, 345, 245
- Cerruti-Sola M., Perinotto M., 1985, *ApJ*, 291, 237
- Ciardullo R., 2003, *Stellar Candles for the Extragalactic Distance Scale*, Springer
- Chu Y. -H., Guerrero M. A., Gruendl R. A., 2003, *IAUS*, 209, 415
- Clayton D., 1983, *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis*, University of Chicago Press
- Clegg R., Seaton M., Peimbert M., Torres-Peimbert S., 1983, *MNRAS*, 205, 417

Corradi R. L. M., Schwarz H. E., 1995, A&A, 193, 871

Corradi R. L. M., Perinotto M., Schwarz H. E., Claeskens J. F., 1997, A&A, 322, 975

De Robertis M., Dufour J., Hunt R., 1987, JRASC, 81, 195

Delgado-Ingada G., Rodríguez M., Mampaso A., Viironen K., 2009, ApJ, 694, 1335

Ercolano B., Barlow M. J., Storey P. J., Liu X. -W., 2003, MNRAS, 340, 1136

Faúndez-Abans M, Maciel W. J., 19987, A&A, 183, 324

Feibelman W., 1999, ApJ, 514, 296

Feldmeier J. J., Ciardullo R., Jacoby G. H., Durrell P. R., 2004, ApJ, 615, 196

Garcia-Segura G., López J. A., Franco J., 2005, ApJ, 618, 919

Gonçalves D., Corradi R. L. M., Mampaso A., Perinotto M., 2003, ApJ, 597, 975

Gonçalves D., 2004, Portal do Astrônomo, Tema do Mês, em <http://www.portaldoastronomo.org/tema.php?id=3>

Gonçalves D. R., Ercolano B., Carnero A., Mampaso A., Corradi R. L. M., MNRAS, 2006, 365, 1039

Grosdidier Y., Acker A., Moffat A. F. J., A&A, 2001, 370, 513

Habing H. J., Olofsson H., 2004, *Asymptotic Giant Branch Stars*, Springer

van den Hoek L. B., Groenewegen M. A. T., 1997, A&ASS, 123, 305

Icke V., Balick B., Frank A., 1992, A&A, 253, 224

Kingsburgh R., Barlow M. 1994, MNRAS, 271, 257

Kwok S., Purton C. R., Fitzgerald P. M., 1978, ApJ, 219, 125

Kwok S., 1994, PASP, 106, 344

Kwok S., 2000, *The Origin and Evolution of Planetary Nebulae*, Cambridge University Press

Kwok S., 2001, *Cosmic Butterflies*, Cambridge University Press

Liu Y., Liu X.-W., Luo S.-G., Barlow M., 2004, MNRAS, 353, 1231

Liu Y., Liu X.-W., Barlow M., Luo S.-G. 2004, MNRAS, 353, 1251

Luridiana V., Peimbert A., Peimbert M., Cerviño M. 2003, ApJ, 592, 846

- Maciel W. J., 1989, IAUS, 103, 73
- Maciel W. J., Dutra C. M., 1992, A&A, 262, 271
- Maciel W. J., Köppen J., 1994, A&A, 282, 436
- Maciel W. J., 1999, *Introdução à Estrutura e Evolução Estelar*, Editora da Universidade de São Paulo
- Maciel W. J., Costa R. D. D., 2003, IAUS, 209, 551
- Magrini L., Leisy P., Corradi R. L. M., Perinotto M., Mampaso A., Vílchez J. M., 2005, A&A, 443, 115
- Magrini L., Gonçalves D., 2009, MNRAS, 398, 280
- Manchado A., 2003, IAUS, 209, 431
- Marigo P., 2001, A&A, 370, 194
- Martin J., Xilouris K., Soker N., 2002, A&A, 391, 689
- Massey P., Strobel K., Barnes J. V., Anderson E., 1988, ApJ, 328, 315
- Massey P., Valdes F., Barnes J., 1992, *A User's Guide to Reducing Slit Spectra with IRAF*
- Massey P., 1997, *A User's Guide to CCD Reductions with IRAF*
- Mateluna Perez R. C., Monteiro H., Richards J., Schwarz H. E., 2006, BAAS, 38, 1113
- Meaburn J., López J. A., Bryce M., Mellema G., 1996, A&A, 307, 579
- Mellema G., 1994, A&A, 290, 915
- Monteiro H., Gruenwald R., Morisset C., Viegas S. M., 2002, RevMexAC, 12, 170
- Monteiro H., Schwarz H. E., Gruenwald R., Heathcote S., 2004, ApJ 609, 194
- Monteiro H., Schwarz H. E., Gruenwald R., Guenthner K., Heathcote S., 2005, ApJ, 620, 321.
- Montez R. Jr., Kastner J. H., de Marco O., Soker N., 2005, ApJ, 635, 381.
- Novotny, E., 1973, *Introduction to Stellar Atmospheres and Interiors*, Oxford University Press
- O'Donnell J., 1994, ApJ, 422, 158
- Osterbrock D., Ferland G., 2006, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*, University Science Books
- Park S., Schowengerdt R., 1983, em *Comput. Vision, Graphics & Image Processing*, 23, 256

- Peimbert M., 1978, IAUS, 76, 215
- Peimbert M., Torres-Peimbert S., 1983, IAUS, 103, 233
- Peimbert M., Luridiana V., Peimbert A., 2007, ApJ, 666, 636
- Peña M., Stasińska G., Richer M. G., 2007, A&A, 476, 745
- Péquignot D., Walsh J. R., Zijlstra A. A., Dudziak G., 2000, A&A, 361, L1
- Perinotto M., 1991, ApJ, 76, 687
- Perinotto M., Corradi R. L. M., 1998, A&A, 332, 721
- Pottasch S., Bernard-Salas J., Beintema D., Feibelman W., 2003, A&A, 409, 599
- Quireza C., Rocha-Pinto H. J., Maciel W. J., 2007, A&A, 475, 217
- Reynolds R. J., 1989, ApJ, 339, 29
- Rice M., Schwarz H., Monteiro H., 2004, BAAS, 36, 1572
- Richer M. G., Báez S. -H., López J. A., Riesgo H., García-Díaz Ma. T., 2009, arXiv, 0908.2111
- Rifman S., Mckinnon D., 1974, em *Evaluation of Digital Correction Techniques for ERTS Images: Final Report (Rep. 20634-6003-TE-00; Redondo Beach: TRW Systems)*
- Tsamis Y. G., Walsh J. R., Péquignot, D., Barlow, M. J., Danziger I. J., Liu X. -W., 2008, MNRAS, 386, 22
- Sabbadin F., Cappellaro E., Benetti S., Turatto M., Zanin C., 2000, A&A 355, 688
- Schwarz H. E., Monteiro H., 2006, ApJ, 648, 430
- Seaton M., 1979, MNRAS, 187, 73
- Shklovskii I., 1956, Astron. Zh., 33, 222
- Shklovskii I., 1956, Astron. Zh., 33, 315
- Spitzer L., 1998, *Physical Processes in the Interstellar Medium*, Wiley-Interscience
- Stanghellini L., Corradi R. L. M., Schwarz H. E., 1993, A&A, 276, 463
- Stanghellini L., Walsh J. R., Douglas N. G., 2004, Anais de *ESO Workshop, Planetary Nebulae Beyond the Milk Way*
- Stasińska G., 2002, em Esteban C., Garcí López R. J, Herrero A., Sánchez F., *Cosmochemistry. The melting pot of the elements, XIII Canary Islands Winter School of Astrophysics*

Swihart T. L., 1968, *Astrophysics and Stellar Astronomy*, New York John Wiley

Villaver E., Manchado A., García-Segura G., 2002, *ApJ*, 581, 1204

Lista de Figuras

1.1	Trajecória de evolução das NP's	2
1.2	Teoria dos Ventos Interagentes	5
2.1	Imagem <i>NOT</i> de NGC 40 em $H\alpha$	14
3.1	Distribuição de $c_{H\beta}$ em NGC 40	24
3.2	Fluxograma do ALGORITMO NEBULAR	26
3.3	Teste comparativo (N^+): ALGORITMO NEBULAR <i>versus IRAF</i>	36
3.4	Teste comparativo (O^0): ALGORITMO NEBULAR <i>versus IRAF</i>	37
3.5	Teste comparativo (O^{++}): ALGORITMO NEBULAR <i>versus IRAF</i>	38
3.6	Teste comparativo (S^+): ALGORITMO NEBULAR <i>versus IRAF</i>	39
3.7	Teste comparativo (Cl^{++}): ALGORITMO NEBULAR <i>versus IRAF</i>	40
4.1	Comparação entre os fluxos do mapa espectroscópico e do espectro	47
4.2	Espectro da estrela central de NGC 40	48
5.1	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de $H10$ 3798 Å, $H9$ 3835 Å, $H8+He^+$ 3888 Å e $He\epsilon+Ne^{++}+He^+$ λ 3968	55
5.2	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de S^+ 4072 Å, $H\delta$ 4101 Å, $H\gamma$ 4340 Å e He^+ 4388 Å	56
5.3	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de He^+ 4471 Å, Mg^0 4563+71 Å, $C^{++}+C^{3+}$ 4647+58 Å e He^{++} 4686 Å	57
5.4	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de Ar^{3+} 4711 Å, $H\beta$ 4861 Å, He^+ 4921 Å e O^{++} 4959 Å	58
5.5	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de O^{++} 5007 Å, N^0 5198+5200 Å, Cl^{++} 5517 Å e Cl^{++} 5537 Å	59
5.6	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de O^0 5577 Å, N^+ 5755 Å, He^+ 5876 Å e O^0 I 6300 Å	60
5.7	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de O^0 6363 Å, N^+ 6548 Å, $H\alpha$ 6563 Å e N^+ 6584 Å	61
5.8	Mapas espectroscópicos das linhas de emissão de He^+ 6678 Å, S^+ 6717 Å e S^+0 6731 Å	62
5.9	Comparação entre imagem e mapa espectroscópico de $H\alpha$	63

5.10	Mapas espectroscópicos das temperaturas e da densidade eletrônicas: $T_e(\text{N}^+)$, $T_e(\text{S}^+)$ e $N_e(\text{S}^+)$	65
5.11	Mapas espectroscópicos das abundâncias iônicas de Ar^{3+} , Cl^{++} , He^{++} II e O^0	69
5.12	Mapas espectroscópicos das abundâncias iônicas de He^+ , N^+ , O^{++} e S^+	70
5.13	Mapa espectroscópico do limite inferior da abundância total de O	72
5.14	Mapa espectroscópico da abundância total de He	73
5.15	Mapa da SNR da linha de emissão 5755 \AA	74
5.16	Mapas espectroscópicos das abundâncias iônicas com T_e constante: Ar^{3+} , Cl^{++} , He^{++} e O^0	75
5.17	Mapas espectroscópicos das abundâncias iônicas com T_e constante: He^+ , N^+ , O^{++} e S^+	76
6.1	Mapas sintéticos de NGC 40 das linhas de emissão $\text{H}\beta$ 4861 \AA , O^{++} 5007 \AA , S^+ 6731 \AA e N^+ 6584 \AA	81

Lista de Tabelas

1.1	Abundâncias características das nebulosas planetárias, de acordo com as classificações de Peimbert (1978) e Kingsburgh & Barlow (1994).	9
2.1	Posicionamento das fendas longas, relativamente à estrela central de NGC 40.	15
3.1	Fluxos e intensidades totais dos mapas espectroscópicos das linhas de emissão.	21
3.2	Parâmetros (mapas) de entrada para o cálculo de N_e	27
3.3	Parâmetros (mapas) de entrada para o cálculo de T_e	28
3.4	Parâmetros (mapas) de entrada para o cálculo de abundâncias iônicas. . .	28
3.5	Parâmetros de entrada (mapas) para o cálculo de abundâncias totais. . . .	31
3.6	Razões teóricas das linhas da Série de Balmer	32
3.7	Valor da função de extinção para a Série de Balmer	32
3.8	Teste dos resultados de $c_{H\beta}$	33
3.9	Teste dos resultados da correção de extinção	34
3.10	Teste dos resultados do cálculo de T_e e N_e	35
3.11	Parâmetros de entrada das Figuras 3.2 a 3.5	35
3.12	Teste dos cálculos de emissividades de $H\beta$ e abundâncias iônicas	41
3.13	Parâmetros de entrada para o teste das abundâncias químicas totais	42
3.14	Teste dos resultados das abundâncias químicas totais	42
4.1	Extensões e posições das regiões de NGC 40 relativas à estrela central, fenda G	44
4.2	Comparação entre os fluxos observados medidos da fenda G e os mapas espectroscópicos das linhas de emissão correspondentes.	46
4.3	Intensidades das linhas de emissão – Fenda G.	49
4.4	Fluxos e intensidades das linhas de emissão da região <i>Neb</i> – Fenda G. . .	50
4.5	Incertezas nos fluxos das linhas de emissão – Fenda G.	51
4.6	Densidades, temperaturas e abundâncias iônicas – <i>IRAF</i>	52
5.1	Densidades e temperaturas eletrônicas e abundâncias iônicas – mapas espectroscópicos.	68

Apêndice A

Algoritmo de Correção de Extinção

Subrotina cbeta

```
##### Cbeta.pro: Calcula c(HB) #####  
DIR = "  
dens = findgen(3)*0.  
abteor = findgen(3)*0.  
gbteor = findgen(3)*0.  
dbteor = findgen(3)*0.  
DEN = findgen(1)*0.  
  
#####  
print, "  
print, 'Tarefa que calcula o coeficiente c(HB) ponto a ponto em uma dada imagem, a  
partir da comparação entre as razões observadas e teóricas das intensidades das linhas da  
Série de Balmer.'  
print, "  
print, 'A relação utilizada para realizar este cálculo é:'  
print, "  
print, ' - log [I(lambda) / I(HBeta)] + log [Razão Teórica]'  
print, ' c = _____'  
print, ' [f(lambda) - f(HBeta)]'  
print, "  
print, 'onde (I(lambda) / I(HBeta)) é a razão observada, que precisa ser corrigida,  
Razão Teórica é a razão entre a linha da Série de Balmer em questão e HBeta, listados  
na tabela abaixo e f é a função de extinção.  
  
#####
```

```

print, ''
print, 'Tabela de Razões Teóricas dos fluxos da Série de Balmer, de Osterbrock &
Ferland (2006):'
print, ''
print, '      T(K)          5000          10000          20000'
print, ' Ne(cm^-3) 10^2 10^4 10^6 10^2 10^4 10^6 10^2 10^4 10^6'
print, 'HAlfa / HBeta 3.041 3.001 2.918 2.863 2.847 2.806 2.747 2.739 2.725'
print, 'HGama / HBeta 0.458 0.460 0.465 0.468 0.469 0.471 0.475 0.476 0.476'
print, 'HDelt / HBeta 0.251 0.253 0.258 0.259 0.260 0.262 0.264 0.264 0.266'
print, ''
print, 'Valores a serem usados da função de extinção, considerando o parâmetro R =
3.1:'
print, 'HAlfa = 0.818'
print, 'HBeta = 1.164'
print, 'HGama = 1.346'
print, 'HDelt = 1.431'

dens(0) = 100.
dens(1) = 10000.
dens(2) = 1000000.

;#####
print, 'Entre com o diretorio que contem os mapas:'
read, DIR
alfa = file_test(DIR+'ha6563.fits')
beta = file_test(DIR+'hb4861.fits')
gama = file_test(DIR+'hg4340.fits')
delt = file_test(DIR+'hd4101.fits')

IF (beta ne 1.) THEN print, 'O mapa de H Beta não foi encontrado e o coeficiente de
extincao nao pode ser calculado.'

IF (beta eq 1.) THEN BEGIN
print, ''
print, 'Foram encontrados os seguintes mapas:'
print, ''
print, 'H Beta'
print, ''
hbeta = DIR+'hb4861.fits'

```

```
FITS_READ, hbeta, bet, header
fbeta = 1.164 ;valor da função de extinção de HBeta
```

```
sz = size(bet)
```

```
dimx = sz[1]
```

```
dimy = sz[2]
```

```
IF (alfa eq 1.) THEN BEGIN
```

```
  print, 'H Alfa'
```

```
  halfa = DIR+'/ha6563.fits'
```

```
  FITS_READ, halfa, alf, header
```

```
ENDIF
```

```
IF (gama eq 1.) THEN BEGIN
```

```
  print, 'H Gama'
```

```
  hgama = DIR+'/hg4340.fits'
```

```
  FITS_READ, hgama, gam, header
```

```
ENDIF
```

```
IF (delt eq 1.) THEN BEGIN
```

```
  print, 'H Delta'
```

```
  hdelt = DIR+'/hd4101.fits'
```

```
  FITS_READ, hdelt, del, header
```

```
ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
print, ''
```

```
print, 'Para a determinação das relações teóricas da Série de Balmer é necessário  
estabelecer a Te e a Ne.'
```

```
print, 'Escolha uma opção de temperatura:'
```

```
print, '(1) 5000 K'
```

```
print, '(2) 10000 K'
```

```
print, '(3) 200000 K'
```

```
read, opcte
```

```
print, ''
```

```
print, 'A razão teórica adotada será interpolada em função de Ne. Qual á a densidade  
a ser adotada?'
```

read, DEN

```
WHILE (opcte ne 1) and (opcte ne 2) and (opcte ne 3) DO BEGIN
    print, 'Opção inválida. Tente novamente:'
    read, opcte
ENDWHILE
```

```
IF (opcte eq 1) THEN BEGIN
    abteor(0) = 3.041
    abteor(1) = 3.001
    abteor(2) = 2.918
    gbteor(0) = 0.458
    gbteor(1) = 0.460
    gbteor(2) = 0.465
    dbteor(0) = 0.251
    dbteor(1) = 0.253
    dbteor(2) = 0.258
ENDIF
```

```
IF (opcte eq 2) THEN BEGIN
    abteor(0) = 2.863
    abteor(1) = 2.847
    abteor(2) = 2.806
    gbteor(0) = 0.468
    gbteor(1) = 0.469
    gbteor(2) = 0.471
    dbteor(0) = 0.259
    dbteor(1) = 0.260
    dbteor(2) = 0.262
ENDIF
```

```
IF (opcte eq 3) THEN BEGIN
    abteor(0) = 2.747
    abteor(1) = 2.739
    abteor(2) = 2.725
    gbteor(0) = 0.475
    gbteor(1) = 0.476
    gbteor(2) = 0.476
    dbteor(0) = 0.264
```



```

dbteor(1) = 0.264
dbteor(2) = 0.266
ENDIF

IF (beta eq 1.) THEN BEGIN

  IF (alfa eq 1.) THEN BEGIN
    print, 'HAlfa / HBeta:'
    falfa = 0.818
    ab = interpol(abteor,dens,DEN,/quadratic)
    abteoria = findgen(dimx,dimy)

    FOR i=0,dimx-1 DO BEGIN
      FOR j=0,dimy-1 DO BEGIN
        abteoria(i,j) = ab
      ENDFOR
    ENDFOR
  ENDIF

  IF (gama eq 1.) THEN BEGIN
    print, 'HGama / HBeta:'
    fgama = 1.346
    gb = interpol(gbteor,dens,DEN,/quadratic)
    gbteoria = findgen(dimx,dimy)

    FOR i=0,dimx-1 DO BEGIN
      FOR j=0,dimy-1 DO BEGIN
        gbteoria(i,j) = gb
      ENDFOR
    ENDFOR
  ENDIF

  IF (delt eq 1.) THEN BEGIN
    print, 'HDelt / HBeta:'
    fdelt = 1.431
    db = interpol(dbteor,dens,DEN,/quadratic)
    dbteoria = findgen(dimx,dimy)

    FOR i=0,dimx-1 DO BEGIN

```

```

        FOR j=0,dimy-1 DO BEGIN
            dbteoria(i,j) = db
        ENDFOR
    ENDFOR
ENDIF

;#####
;Parte que substitui os valores iguais a 0(zero) de hbeta por 10^ (-50), para que não
seja acusado nenhum erro de divisão por 0(zero).

    FOR x = 0, (dimx-1) DO BEGIN
        FOR y = 0, (dimy-1) DO BEGIN

            IF bet[x,y] eq 0. THEN bet[x,y] = 10^ (-50)

        ENDFOR
    ENDFOR

;#####
    print, '
    print, 'Foram calculados os seguintes coeficientes c(HB) - os resultados mostrados
a seguir são médias dos pixels das imagens geradas:'
    totl = findgen(dimx,dimy)*0.

    IF (alfa eq 1.) THEN BEGIN
        aratio = (alf / bet)
        adif = falfa - fbeta
        calfa = ((-alog10(aratio) + alog10(abteoria)) / adif)

        real = where(((calfa LE 0.) AND (calfa GT -1.E34)) OR ((calfa GT 0.) AND
(calfa LT 1.E34)))
        print, 'Baseado no mapa de HAlfa e HBeta:', 'c(HB) = ', mean(calfa(real))
        totl = totl + alf
    ENDIF

    IF (gama eq 1.) THEN BEGIN
        gratio = (gam / bet)
        gdif = fgama - fbeta

```

```

cgama = ((-alog10(gratio) + alog10(gbteoria)) / gdif)

real = where(((cgama LE 0.) AND (cgama GT -1.E34)) OR ((cgama GT 0.)
AND (cgama LT 1.E34)))
print, 'Baseado no mapa de HGama e HBeta:', 'c(HB) = ', mean(cgama(real))
totl = totl + gam
ENDIF

IF (delt eq 1.) THEN BEGIN
dratio = (del / bet)
ddif = fdelt - fbeta
cdelt = ((-alog10(dratio) + alog10(dbteoria)) / ddif)

real = where(((cdelt LE 0.) AND (cdelt GT -1.E34)) OR ((cdelt GT 0.) AND
(cdelt LT 1.E34)))
print, 'Baseado no mapa de HDelt e HBeta:', 'c(HB) = ', mean(cdelt(real))
totl = totl + del
ENDIF

tot = findgen(dimx,dimy)
FOR i=0,dimx-1 DO BEGIN
FOR j=0,dimy-1 DO BEGIN
tot(i,j) = totl(i,j)
ENDFOR
ENDFOR

;#####
cnorm = findgen(dimx,dimy)*0.

IF (alfa eq 1.) THEN BEGIN
calfanorm = findgen(dimx,dimy)*0.
calfanorm = calfa * (alf / tot)
cnorm(*,*) = cnorm(*,*) + calfanorm(*,*)
ENDIF

IF (gama eq 1.) THEN BEGIN
cgamanorm = findgen(dimx,dimy)*0.
cgamanorm = cgama * (gam / tot)
cnorm(*,*) = cnorm(*,*) + cgamanorm(*,*)

```

```

ENDIF

IF (delt eq 1.) THEN BEGIN
  cdeltnorm = findgen(dimx,dimy)*0.
  cdeltnorm = cdelt * (del / tot)
  cnorm(*,*) = cnorm(*,*) + cdeltnorm(*,*)
ENDIF

ENDIF

;#####
FOR i=0,dimx-1 DO BEGIN
  FOR j=0,dimy-1 DO BEGIN

    nanloc = finite(cnorm(i,j))
    IF (nanloc eq 0.) THEN BEGIN

      IF (alfa eq 1.) THEN BEGIN
        nanloca = finite(calfa(i,j))
        IF (nanloca eq 1.) THEN cnorm(i,j)=calfa(i,j)
      ENDIF

    ENDIF

  ENDIF

ENDFOR

ENDFOR

real = where(((cnorm LE 0.) AND (cnorm GT -1.E34)) OR ((cnorm GT 0.) AND
(cnorm LT 1.E34)))

print, ''
print, 'Resultado final:', 'c(HB) = ', mean(cnorm(real))
writefits, 'cbeta.fits', cnorm
print, ''
print, 'O mapa de c(HB) foi salvo com o nome de cbeta.fits'
print, ''

END

```

Subrotina redcorr

```
##### Redcorr.pro #####  
##### Utiliza c(HB) para corrigir de avermelhamento #####
```

```
;  
-----  
;|                               Programa REDCORR                               |  
;|                                                                           |  
;|DIR:      Diretório onde estão os mapas das linhas de emissão.           |  
;|DIRcb:    Diretório onde está o mapa de c(HB).                           |  
;|opc:      Opção do usuário: Corrigir (1) 1 ou (2) todos os mapas.         |  
;|c:        Mapa de c(HB).                                                  |  
;|beta:     Mapa de HBeta.                                                 |  
;|fncopc:   Opção da função de extinção a ser usada.                       |  
;|R:        Parâmetro  $R_v = (A(v) / E(B-V))$  da função de CCM89.           |  
;|abeta:    Coeficiente "a", da função de CCM89, para HBeta.               |  
;|bbeta:    Coeficiente "b", da função de CCM89, para HBeta.               |  
;|fbeta:    Valor da função de extinção para HBeta.                        |  
;|dat:      Mapa(s) a ser(em) corrigido(s).                                |  
;|lambda:   Comprimento de onda do mapa a ser corrigido.                   |  
;|x:        Inverso do comprimento de onda, em micrometros.                 |  
;|y:        =  $(x - 1.82)$ , como definido em CCM89.                          |  
;|a:        Coeficiente "a" da função de extinção de CCM89.                 |  
;|b:        Coeficiente "b" da função de extinção de CCM89.                 |  
;|flambda:  Valor da função de extinção para o lambda em questão.          |  
;|dered:    Mapa corrigido de avermelhamento.                             |  
;|deredhb100: Mapa corrigido de avermelhamento escalonado para HB=100.    |  
;|dat100:   Mapa da linha de emissão escalonado para HB=100.               |  
;|szx:      Dimensão "x" dos mapas.                                         |  
;|szy:      Dimensão "y" dos mapas.                                         |  
;|num:      Número de mapas encontrados, a serem corrigidos.               |  
;|fseaton:  Valores de flambda de Seaton79 para certos lambdas.             |  
;|fbetaX:   Valor de flambda para HBeta, como definido em Seaton79.        |  
;|xobs:     Inverso do comprimento de onda observado, em micrometros.       |  
;|flambdaX: Valor de flambda de Seaton79 para o lambda em questão.          |  
;|fsavmat:  Valores de flambda de SM79 para certos lambdas.                 |  
;|lam:      Lambdas correspondentes aos valores de fsavmat.                 |  
;|-----
```

```

DIR = "
DIRcb = "
data = "
lambda=findgen(1)*0.

print, "
print, '*****'
print, '***** Tarefa que opera correção de extinção em uma dada imagem
*****'

print, '*****'
print, "
print, 'A relação utilizada para realizar este cálculo é:'
print, "
print, '          -c*(f(lambda)-f(Hbeta))'
print, 'I(linha) = F(linha)*10          ref. Osterbrock'
print, "
print, 'onde I(line) é o fluxo observado, F(line) é o fluxo corrigido de extinção, c é a
constante de extinção (c(HB)) e f(lambda) a função de extinção.'

print, "
print, 'Entre com o diretório que contém os mapas:'
read, DIR

mapas = findfile(DIR+'/*.fits')
mapassav = findfile(DIR)
print, "
print, 'Foram encontrados', n_elements(mapas), ' mapas. Mapas encontrados:'
print, "
print, mapas
print, "
print, 'Selecione uma opção: (1) Corrigir um único mapa. (2) Corrigir todos os mapas
encontrados.'
read, opc

WHILE (opc NE 1) AND (opc NE 2) DO BEGIN
    print, 'Opção inválida. Tente novamente:'
    read, opc
ENDWHILE

```

;Leitura de C(HB), HB e Rv:

```
print, 'Entre com o diretório que contém o mapa de C(HB) - certifique-se que ele não
esteja localizado no mesmo diretório que os mapas:'
```

```
read, DIRcb
```

```
cbeta = DIRcb+'/cbeta.fits'
```

```
FITS_READ, cbeta, c, header
```

```
hbeta = DIR+'/hb4861.fits'
```

```
FITS_READ, hbeta, beta, header
```

;Escolha da função:

```
print, "
```

```
print, 'Qual é a função de extinção a ser usada?'
```

```
print, '(1) Cardelli, Clayton & Mathis (1989)'
```

```
print, '(2) Seaton (1979)'
```

```
read, fncopc
```

```
WHILE (fncopc NE 1) AND (fncopc NE 2) DO BEGIN
```

```
    print, 'Opção inválida. Tente novamente:'
```

```
    read, fncopc
```

```
ENDWHILE
```

```
;                Cardelli, Clayton & Mathis (1989)                :
```

```
IF (fncopc EQ 1) THEN BEGIN
```

```
    print, 'Entre com o valor de Rv = (A(v) / E(B-V)) ∴ valor padrão para o ISM =
3.1'
```

```
    read, R
```

```
    abeta = 1. + (0.104*0.237190) - (0.609*(0.237190^ 2)) + (0.701*(0.237190^ 3)) +
(1.137*(0.237190^ 4)) - (1.718*(0.237190^ 5)) - (0.827*(0.237190^ 6)) + (1.647*(0.237190^ 7))
- (0.505*(0.237190^ 8))
```

```
    bbeta = 1.952*0.237190 + 2.908*(0.237190^ 2) - 3.989*(0.237190^ 3) - 7.985*(0.237190^ 4)
+ 11.102*(0.237190^ 5) + 5.491*(0.237190^ 6) - 10.805*(0.237190^ 7) + 3.347*(0.237190^ 8)
```

$$fbeta = abeta + (bbeta/R)$$

;Correção de um único mapa:

```

IF (opc EQ 1) THEN BEGIN

    print, 'Qual é o nome do mapa a ser corrigido (inclua a extensão; ex.
oiii5007.fits)?'
    read, data
    FITS_READ, DIR+'/' + data, dat, header
    print, 'Qual é o comprimento de onda (em Angstroms) correspondente a este
mapa? - Escreva este valor no formato floating point (ex: 5007.)'
    read, lambda

    x = (1. / (lambda / 10.^ 4.))
    y = (x - 1.82)

    ;(coeficientes revistos, de O'Donnell 1994)
    a = 1. + (0.104*y) - (0.609*(y^ 2)) + (0.701*(y^ 3)) + (1.137*(y^ 4)) -
(1.718*(y^ 5)) - (0.827*(y^ 6)) + (1.647*(y^ 7)) - (0.505*(y^ 8))
    b = 1.952*y + 2.908*(y^ 2) - 3.989*(y^ 3) - 7.985*(y^ 4) + 11.102*(y^ 5) +
5.491*(y^ 6) - 10.805*(y^ 7) + 3.347*(y^ 8)

    flambda = a + (b/R)

    ;Correção propriamente dita:

    dered = dat * 10.^ (c*(flambda - fbeta)) ;imagem corrigida de extinção
    deredhb100 = (dered * 100.) / beta ;imagem corrigida e normalizada em
HBeta=100
    dat100 = (dat * 100.) / beta

    ;Salvando resultados:

    writefits, dir+'../redcorrected/' + data, dered
    writefits, dir+'../redcorrected/hb100_' + data, deredhb100
    writefits, dir+'hb100_' + data, dat100
    print, "
    print, 'As imagens corrigidas foram salvas com os nomes:'

```



```

print, dir+'../redcorrected/'+data+' -> Imagem corrigida de avermelhamento'
print, dir+'../redcorrected/hb100_'+data+' -> Imagem corrigida de averme-
lhamento e escalonada para F(HB) = 100'
print, dir+'hb100_'+data+' -> Imagem original escalonada para F(HB) = 100'

ENDIF

```

;Correção de todos os mapas localizados:

```

IF (opc EQ 2) THEN BEGIN

    num = n_elements (mapas)
    FITS_READ, mapas[0], im, h
    szx = (size(im))[1] & szy = (size(im))[2]
    dat = findgen (szx, szy, num)*0.
    dat100 = findgen (szx, szy, num)*0.
    lambda = findgen (num)*0.

    FOR i=0,num-1 DO BEGIN

        FITS_READ, mapas[i], map, header
        dat(*,*,i) = map(*,*)
        print, "
        print, 'Mapa:', mapas[i]
        print, 'Qual é o comprimento de onda (em Angstroms) correspondente a este
        mapa? - Escreva este valor no formato floating point (ex: 5007.)'
        read, lamb
        lambda(i) = lamb

        x = findgen(num)*0.
        y = findgen(num)*0.
        a = findgen(num)*0.
        b = findgen(num)*0.
        flambda = findgen(num)*0.
        dered = findgen(szx,szy,num)*0.
        deredhb100 = findgen(szx,szy,num)*0.

        x(i) = (1. / (lambda(i) / 10.^ 4.))
    
```

$$y(i) = (x(i) - 1.82)$$

;coeficientes revistos, de O'Donnell 1994)

$$a = 1. + (0.104*y) - (0.609*(y^2)) + (0.701*(y^3)) + (1.137*(y^4)) - (1.718*(y^5)) - (0.827*(y^6)) + (1.647*(y^7)) - (0.505*(y^8))$$

$$b = 1.952*y + 2.908*(y^2) - 3.989*(y^3) - 7.985*(y^4) + 11.102*(y^5) + 5.491*(y^6) - 10.805*(y^7) + 3.347*(y^8)$$

$$flambda(i) = a(i) + (b(i)/R)$$

;Correção propriamente dita:

dered(*,*,i) = dat(*,*,i) * 10.^ (c(*,*) * (flambda(i) - fbeta)) ;imagem corrigida de extinção

deredhb100(*,*,i) = (dered(*,*,i) * 100.) / beta(*,*) ;imagem corrigida e normalizada em HBeta=100

dat100(*,*,i) = (dat(*,*,i) * 100.) / beta(*,*)

;Salvando resultados:

writefits, dir+'../redcorrected/'+mapassav[i], dered(*,*,i)

writefits, dir+'../redcorrected/hb100_'+mapassav[i], deredhb100(*,*,i)

writefits, dir+'hb100_'+mapassav[i], dat100(*,*,i)

print, "

print, 'As imagens corrigidas foram salvas com os nomes:'

print, dir+'../redcorrected/'+mapassav[i]+' -> Imagem corrigida de avermelhamento'

print, dir+'../redcorrected/hb100_'+mapassav[i]+' -> Imagem corrigida de avermelhamento e escalonada para F(HB) = 100'

print, dir+'hb100_'+mapassav[i]+' -> Imagem original escalonada para F(HB) = 100'

print, "

ENDFOR

ENDIF

ENDIF

; Seaton (1979) :

IF (fncopc EQ 2) THEN BEGIN

 fseaton = findgen(12)*0.

 x = findgen(12)*0.

 fseaton(0) = 1.36

 fseaton(1) = 1.44

 fseaton(2) = 1.84

 fseaton(3) = 2.04

 fseaton(4) = 2.24

 fseaton(5) = 2.44

 fseaton(6) = 2.66

 fseaton(7) = 2.88

 fseaton(8) = 3.14

 fseaton(9) = 3.36

 fseaton(10) = 3.56

 fseaton(11) = 3.77

 x(0) = 1.0

 x(1) = 1.1

 x(2) = 1.2

 x(3) = 1.3

 x(4) = 1.4

 x(5) = 1.5

 x(6) = 1.6

 x(7) = 1.7

 x(8) = 1.8

 x(9) = 1.9

 x(10) = 2.0

 x(11) = 2.1

 fbetaX = interpol(fseaton, x, 2.057189879, /QUADRATIC)

 fbeta = (fbetaX / 3.68) - 1.

;Correção de um único mapa:

```
IF (opc EQ 1) THEN BEGIN

    print, 'Qual é o nome do mapa a ser corrigido (inclua a extensão; ex.
oiii5007.fits)?'
    read, data
    FITS_READ, DIR+'/' + data, dat, header
    print, 'Qual é o comprimento de onda (em Angstroms) correspondente a este
mapa? - Escreva este valor no formato floating point (ex: 5007.)'
    read, lambda
    xobs = 1. / (lambda/10.^ 4.)
    flambdaX = interpol(fseaton, x, xobs, /QUADRATIC)
    flambda = (flambdaX / 3.68) - 1.

;Correção propriamente dita:

    dered = dat * 10.^ (c*(flambda - fbeta)) ;imagem corrigida de extinção
    deredhb100 = (dered * 100.) / beta ;imagem corrigida e normalizada em
HBeta=100
    dat100 = (dat * 100.) / beta

;Salvando resultados:

    writefits, dir+'../redcorrected/' + data, dered
    writefits, dir+'../redcorrected/hb100_' + data, deredhb100
    writefits, dir+'hb100_' + data, dat100

    print, "
    print, 'As imagens corrigidas foram salvas com os nomes:'
    print, dir+'../redcorrected/' + data + ' -> Imagem corrigida de avermelhamento'
    print, dir+'../redcorrected/hb100_' + data + ' -> Imagem corrigida de averme-
lhamento e escalonada para F(HB) = 100'
    print, dir+'hb100_' + data + ' -> Imagem original escalonada para F(HB) =
100'

    print, "

ENDIF
```

;Correção de todos os mapas localizados:

```
IF (opc EQ 2) THEN BEGIN
```

```
  num = n_elements (mapas)
  FITS_READ, mapas[0], im, h
  szx = (size(im))[1] & szy = (size(im))[2]
  dat = findgen (szx, szy, num)*0.
  lambda = findgen (num)*0.
  flambda = findgen(num)*0.
  dered = findgen(szx,szy,num)*0.
  deredhb100 = findgen(szx,szy,num)*0.
  dat100 = findgen(szx,szy,num)*0.
```

```
FOR i=0,num-1 DO BEGIN
```

```
  FITS_READ, mapas[i], map, header
  dat(*,*,i) = map(*,*)
  print, "
  print, 'Mapa:', mapas[i]
  print, 'Qual é o comprimento de onda (em Angstroms) correspondente a este
  mapa? - Escreva este valor no formato floating point (ex: 5007.)'
  read, lamb
  lambda(i) = lamb

  flambda(i) = interpol(fseaton, lam, lambda(i), /QUADRATIC)

  ;Correção propriamente dita:
```

```
    dered(*,*,i) = dat(*,*,i) * 10.^ (c(*,*) * (flambda(i) - fbeta)) ;imagem
  corrigida de extinção
```

```
    deredhb100(*,*,i) = (dered(*,*,i) * 100.) / beta(*,*) ;imagem corrigida e
  normalizada em HBeta=100
```

```
    dat100(*,*,i) = (dat(*,*,i) * 100.) / beta(*,*)
```

```
; Salvando resultados:
```

```
writefits, dir+'../redcorrected/'+mapassav[i], dered(*,*,i)
```

```
writefits, dir+'../redcorrected/hb100_'+mapassav[i], deredhb100(*,*,i)
```

```

writefits, dir+'hb100_' +mapassav[i], dat100(*,*,i)

print, "
print, 'As imagens corrigidas foram salvas com os nomes:'
    print, dir+'../redcorrected/' +mapassav[i]+' -> Imagem corrigida de
avermelhamento'
    print, dir+'../redcorrected/b100_' +mapassav[i]+' -> Imagem corrigida de
avermelhamento e escalonada para  $F(HB) = 100$ '
    print, dir+'hb100_' +mapassav[i]+' -> Imagem original escalonada para
 $F(HB) = 100$ '
print, "

ENDFOR

ENDIF

ENDIF

```

Apêndice B

Algoritmo Nebular

Main

```
; «< ROTINA MAIN »>
;-----
;|                               Programa MAIN |
;|-----|
;|IONUM:  Código numeral para o ion de interesse |
;|ICTG:   Variável que seleciona condições físicas ou populações. |
;|PHYG:   Variável lógica para íons de condições físicas disponíveis. |
;|POPG:   Variável lógica para populações de íons disponíveis. |
;|A:      Matriz de probabilidade da transição. |
;|C:      Matriz de força colisional. |
;|Q:      Matriz de probabilidade da transição colisional. |
;|JL:     Matriz do volume da emissividade. |
;|JHB:    Volume Heta de emissividade. |
;|NCRIT:  Densidade crítica do nível superior. |
;|POP:    Nível relativo de populações. |
;|WEIGHT: Peso estatístico dos níveis. |
;|T:      Vetor da energia acima do estado não-excitado [1/Angstroms]. |
;|-----|
```

;Apresentação do programa e escolha da rotina:

DIR = ”

print, “

```

print, ''
print, '«< Programa Adaptado de FIVEL (De Robertis, Dufour & Hunt 1987) »>'
```

print, ''

```

print, ''
print, 'Entre com o directorio dos mapas a serem usados (razões de linhas ou emissões
das linhas):'
read, DIR
mapas=findfile(DIR+'/*.fits')
print, ''
print, 'Foram encontrados ',n_elements(mapas), ' mapas.'
```

print, ''

```

FITS_READ,mapas[0],im,h
print, 'Dimensões dos mapas:',(size(im))[1], ' x',(size(im))[2]
szx = (size(im))[1] & szy = (size(im))[2]
print, ''
print, 'Selecione uma opção:'
print, '(1) Condições Físicas; (2) Abundâncias Iônicas; (3) Abundâncias Totais'
```

read, ICTG

;Condições Físicas (Temperatura e densidade eletrônicas)

IF ICTG EQ 1 THEN BEGIN

```

;Número dos íons: N° atômico // Estágio de Ionização // N(=1), T(=2)
print, ''
print, '«< Categoria "Condições Físicas»»'
```

print, '*** Ions Disponíveis ***'

```

print, '7001: [N I] Ne; 7012: [N II] Te;'
print, '8002: [O I] Te; 8011: [O II] Ne;' ;o código 8002 não aparece nesta tabela
em De Robertis, Dufour & Hunt 1987
print, '8012: [O II] Te; 8022: [O III] Te;'
print, '10022: [Ne III] Te; 10031: [Ne IV] Ne;'
print, '10042: [Ne V] Te; 16011: [S II] Ne;'
print, '16012: [S II] Te; 16022: [S III] Te;'
print, '17021: [Cl III] Ne; 17032: [Cl IV] Te;'
print, '18022: [Ar III] Te; 18031: [Ar IV] Ne;'
print, '18032: [Ar IV] Te; 18042: [Ar V] Te;'
print, ''
```



```

print, 'Selecione um dos íons acima, digitando o código correspondente'
read, IONUM

WHILE IONUM ne 7001 and IONUM ne 7012 and IONUM ne 8002 and IONUM
ne 8011 and IONUM ne 8012 and IONUM ne 8022 and IONUM ne 10022 and IONUM ne
10031 and IONUM ne 10042 and IONUM ne 16011 and IONUM ne 16012 and IONUM
ne 16022 and IONUM ne 17021 and IONUM ne 17032 and IONUM ne 18022 and IONUM
ne 18031 and IONUM ne 18032 and IONUM ne 18042 DO BEGIN
  print, 'Este código não corresponde a nenhum íon listado; escolha novamente:'
  read, IONUM
ENDWHILE

print, 'Cálculo de condições físicas para o íon de código:', IONUM
print, '

CALL_PROCEDURE, 'INPUT', DIR, szx, szy, IONUM, DEN, TEM, ROBS,
nlogic, tlogic, temp, dens, ILI, ILII, ILIII, OXY, OXYII, OXYIII, NII, HEI, HEII, NEIII,
SII, SIII, NEO, ARIV
CALL_PROCEDURE, 'PARI', IONUM, A, T, WEIGHT, iraf
CALL_PROCEDURE, 'TEM DEN', szx, szy, IONUM, C, T, DEN, TEM, WEIGHT,
ROBS, A, POP, JL, NCRIT
CALL_PROCEDURE, 'OUTPUT', IONUM, DIR, DEN, TEM, POP, JL, NCRIT,
tlogic, nlogic, temp, dens, T, szx, szy, ILI, ILII, ILIII

ENDIF

;Populações Iônicas

IF ICTG EQ 2 THEN BEGIN

;Número dos íons: N° atômico // Estágio de Ionização

print, '
print, '«< Categoria "Populações de Nível»»'
print, '*** Ions Disponíveis ***'
print, '7000: [N I] ; 7010: [N II] ;'
print, '8000: [O I] ; 8010: [O II] ;' ;o código 8002 não aparece nesta tabela em De
Robertis, Dufour & Hunt 1987

```

```

print, '8020: [O III] ; 10020: [Ne III] ;'
print, '10030: [Ne IV] ; 10040: [Ne V] ;'
print, '16010: [S II] ; 16020: [S III] ;'
print, '17010: [Cl II] ; 17020: [Cl III] ;'
print, '17030: [Cl IV] ; 18020: [Ar III] ;'
print, '18030: [Ar IV] ; 18040: [Ar V] ;'
print, '19030: [K IV] ; 19040: [K V] ;'
print, ''
print, 'Selecione um dos íons acima, digitando o código correspondente'
read, IONUM

```

```

WHILE IONUM ne 2000 and IONUM ne 7000 and IONUM ne 7010 and IONUM
ne 8000 and IONUM ne 8010 and IONUM ne 8020 and IONUM ne 10020 and IONUM ne
10030 and IONUM ne 10040 and IONUM ne 16010 and IONUM ne 16020 and IONUM
ne 17010 and IONUM ne 17020 and IONUM ne 17030 and IONUM ne 18020 and IONUM
ne 18030 and IONUM ne 18040 and IONUM ne 19030 and IONUM ne 19040 DO BEGIN
  print, 'Este código não corresponde a nenhum íon listado; escolha novamente:'
  read, IONUM
ENDWHILE

```

```

print, 'Cálculo de abundâncias iônicas para o ion de código:', IONUM
print, ''

```

```

CALL_PROCEDURE, 'INPUT', DIR, szx, szy, IONUM, DEN, TEM, ROBS,
nlogic, tlogic, temp, dens, ILI, ILII, ILIII, OXY, OXYII, OXYIII, NII, HEI, HEII, NEIII,
SII, SIII, NEO, ARIV
CALL_PROCEDURE, 'PARI', IONUM, A, T, WEIGHT, iraf
CALL_PROCEDURE, 'PARII', szx, szy, IONUM, TEM, C, A, T, WEIGHT
CALL_PROCEDURE, 'SOLVE', T, C, DEN, TEM, WEIGHT, A, szx, szy, POP,
JL, NCRIT
CALL_PROCEDURE, 'OUTPUT', IONUM, DIR, DEN, TEM, POP, JL, NCRIT,
tlogic, nlogic, temp, dens, T, szx, szy, ILI, ILII, ILIII

```

```

ENDIF

```

```

IF ICTG EQ 3 THEN BEGIN

```

```

  print, ''

```

```

print, '«< Categoria "Populações de Nível»»'
print, '*** Ions Disponíveis ***'
print, '2003: He ; 7003: N'
print, '8003: O ; 10003: Ne'
print, '18003: Ar ; 16003: S'
print, ''
print, 'Selecione um dos elementos acima, digitando o código correspondente'
read, IONUM

```

```

CALL_PROCEDURE, 'INPUT', DIR, szx, szy, IONUM, DEN, TEM, ROBS,
nlogic, tlogic, temp, dens, ILI, ILII, ILIII, OXY, OXYII, OXYIII, NII, HEI, HEII, NEIII,
SII, SIII, NEO, ARIV

```

```

CALL_PROCEDURE, 'ABUND', IONUM, TEM, DEN, ILI, ILII, ILIII, szx, szy,
DIR, NEL, NELII, NELIII, NELf

```

```

ENDIF

```

```

IF (ICTG NE 1) AND (ICTG NE 2) AND (ICTG NE 3) THEN print, 'Opção Inválida. Tente novamente!'

```

```

END

```

Input

```
; «< SUBROTINA INPUT »>
;(Fornece os dados para o cálculo)
;-----
;|                               SUBROTINA INPUT                               |
;|                                                                           |
;|ROBS: Razão de linha observada.                                         |
;|DEN:  Densidade numérica eletrônica do gás.                             |
;|TEM:  Temperatura eletrônica do gás.                                     |
;|PHYS: Variável lógica para decidir leitura de ROBS.                     |
;|ILI:  Intensidade da linha.                                              |
;|ILII: Intensidade da linha.                                              |
;|ILIII: Intensidade da linha.                                            |
;|-----|
```

PRO INPUT, DIR, szx, szy, IONUM, DEN, TEM, ROBS, nlogic, tlogic, temp, dens, ILI, ILII, ILIII, OXY, OXYII, OXYIII, NII, HEI, HEII, NEIII, SII, SIII, NEO, ARIV

```
TEM = dindgen(szx,szy)
DEN = dindgen(szx,szy)
ILI = dindgen(szx,szy)
ILII = dindgen(szx,szy)
ILIII = dindgen(szx,szy)
```

IF ((IONUM MOD 10.) eq 0.) or ((IONUM MOD 10.) eq 3.) THEN BEGIN ;identifica último algarismo = 0

```
nlogic = file_test(DIR+"/../densidade/dens_sii.fits")
tlogic = file_test(DIR+"/../temperatura/temp_nii.fits")
opcne = 1. ;Se o mapa não existir, fica definido como 1
opcte = 1. ;Se o mapa não existir, fica definido como 1
```

IF (nlogic eq 1) THEN BEGIN ;Caso o mapa de densidade exista
print, 'Verificou-se que o mapa de densidade eletrônica ([S II]) existe.'

```
print, 'Pressione (0+Enter) para utiliza-lo ou (1+Enter) para entrar com um
valor de densidade constante.'
```

```
read, opcne
```

```
WHILE (opcne ne 0.) AND (opcne ne 1.) DO BEGIN
```

```
print, 'Opção invalida; tente novamente:'
```

```
print, '(0+Enter): utilizar mapa'
```

```
print, '(1+Enter): entrar com valor constante'
```

```
read, opcne
```

```
ENDWHILE
```

```
IF (opcne eq 0.) THEN BEGIN
```

```
print, 'Lendo mapa de densidade eletrônica calculado através de linhas de [S
II]. Caso prefira utilizar um mapa de outro íon, edite a subrotina input.pro, linha 47.'
```

```
densmap = DIR+"/../densidade/dens_sii.fits"
```

```
FITS_READ, densmap, DEN, header
```

```
print, ''
```

```
print, ''
```

```
ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
IF (tlogic eq 1) THEN BEGIN ;Caso o mapa de temperatura exista
```

```
print, 'Foi verificado que o mapa de temperatura eletrônica ([N II]) existe.'
```

```
print, 'Pressione (0+Enter) para utiliza-lo ou (1+Enter) para entrar com um
valor de temperatura constante.'
```

```
read, opcte
```

```
WHILE (opcte ne 0.) AND (opcte ne 1.) DO BEGIN
```

```
print, 'Opção invalida; tente novamente:'
```

```
print, '(0+Enter): utilizar mapa'
```

```
print, '(1+Enter): entrar com valor constante'
```

```
read, opcte
```

```
ENDWHILE
```

```
IF (opcte eq 0.) THEN BEGIN
```

```
print, 'Lendo mapa de temperatura eletrônica calculado através de linhas de
[N II]. Caso prefira utilizar um mapa de outro íon, edite a subrotina input.pro, linha 68.'
```

```
tempmap = DIR+"/../temperatura/temp_nii.fits"
```

```
FITS_READ, tempmap, TEM, header
```

```

        print, ''
        print, ''
    ENDIF
ENDIF

IF (nlogic eq 0) OR (opcne eq 1.) THEN BEGIN
    print, ''
    print, 'Mapa de densidade ([S II]) não encontrado ou opção de se trabalhar com
densidade constante selecionada.'
    print, ''
    print, 'Entre com o valor constante de densidade eletrônica:'
    read, dens
    print, ''
    DEN(*,*) = dens ;Mesmo trabalhando com uma densidade fixa, deixarei tudo
em formalismo de matrizes, para simplificar a escrita do programa.
    print, ''
ENDIF

IF (tlogic eq 0) OR (opcte eq 1.) THEN BEGIN
    ;Caso o mapa de temperatura não exista
    print, ''
    print, 'Mapa de temperatura eletrônica de [N II] não encontrado ou opcao de se
trabalhar com temperatura constante selecionada.'
    print, 'Entre com o valor constante de temperatura eletrônica:'
    read, temp

    WHILE (temp lt 1.E3 or temp gt 2.7E4) DO BEGIN ;o programa original
trabalha com valor máximo = 3.6E4, mas achamos melhor restringir um pouco mais
        print, 'Valor de temperatura fora do intervalo permitido. Digite o valor
novamente:'
        read, temp
    ENDWHILE

    TEM(*,*) = temp ;Mesmo trabalhando com uma temperatura fixa, deixarei
tudo em formalismo de matrizes, para simplificar a escrita do programa.
    print, ''
ENDIF

```

ENDIF

;Leitura do mapa ou valor de densidade eletrônica

IF ((IONUM MOD 10) eq 2.) THEN BEGIN ;identifica último algarismo = 2

nlogic = file_test(DIR+"/../densidade/dens_sii.fits")

opcne = 1. ;Definido como 1 caso não exista mapa.

print, 'Esta não é uma mensagem de erro mas, antes de prosseguir, certifique-se que a imagem correspondente a razão de linhas observadas tem a nomenclatura na forma: el#linha_linha_linha.fits (ex:oiii4959_5007_4363.fits), e está localizada no diretório mapas/fits/ratio/'

print, ''

print, ''

IF (nlogic eq 1) THEN BEGIN ;Caso o mapa de densidade exista

print, 'Foi verificado que o mapa de densidade eletrônica ([S II]) existe.'

print, 'Pressione (0+Enter) para utiliza-lo ou (1+Enter) para entrar com um valor de densidade constante.'

read, opcne

WHILE (opcne ne 0.) AND (opcne ne 1.) DO BEGIN

print, 'Opção invalida; tente novamente:'

print, '(0+Enter): utilizar mapa'

print, '(1+Enter): entrar com valor constante'

read, opcne

ENDWHILE

IF (opcne eq 0.) THEN BEGIN

print, 'Lendo mapa de densidade eletrônica calculado através de linhas de [S II]. Caso prefira utilizar um mapa de outro íon, edite a subrotina input.pro, linha 32.'

densmap = DIR+"/../densidade/dens_sii.fits"

FITS_READ, densmap, DEN, header

print, ''

ENDIF

ENDIF

IF (nlogic eq 0) OR (opcne eq 1.) THEN BEGIN

```

    print, 'Mapa de densidade ([S II]) não encontrado ou opção de se trabalhar com
densidade constante selecionada.'
    print, '
    print, 'Entre com o valor constante de densidade eletrônica para o cálculo de
Te:'
    read, dens
    print, '

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
        DEN(i,j) = dens ;Mesmo trabalhando com uma densidade fixa, deixarei
tudo em formalismo de matrizes, para simplificar a escrita do programa.
        ENDFOR
    ENDFOR
    ENDIF

ENDIF

;Leitura de mapa ou valor de temperatura eletrônica

IF ((IONUM MOD 10) eq 1.) THEN BEGIN ;Identifica último algarismo = 1

    tlogic = file_test(DIR+"/../temperatura/temp_nii.fits") ;Testa a existência
deste arquivo
    opcte = 1. ;Definido como 1 caso não exista mapa.
    print, 'Esta não é uma mensagem de erro, mas antes de prosseguir certifique-
se que a imagem correspondente a razão de linhas observadas tem a nomenclatura na
forma: el#linha_linha_linha.fits (ex:oii3726_3729.fits), e está localizada no diretório
mapas/fits/ratio/'
    print, '

IF (tlogic eq 1) THEN BEGIN ;Caso o mapa de temperatura exista
    print, 'Foi verificado que o mapa de temperatura eletrônica ([N II]) existe.'
    print, 'Pressione (0+Enter) para utiliza-lo ou (1+Enter) para entrar com um
valor de temperatura constante.'
    read, opcte

    WHILE (opcte ne 0.) AND (opcte ne 1.) DO BEGIN

```



```

    print, 'Opção invalida; tente novamente:'
    print, '(0+Enter): utilizar mapa'
    print, '(1+Enter): entrar com valor constante'
    read, opcte
ENDWHILE

IF (opcte eq 0.) THEN BEGIN
    print, 'Lendo mapa de temperatura eletrônica calculado através de linhas de
[N II]. Caso prefira utilizar um mapa de outro íon, edite a subrotina input.pro, linha 42.'
    tempmap = DIR+"/../temperatura/temp_nii.fits"
    FITS_READ, tempmap, TEM, header
    print, ''
ENDIF
ENDIF

IF (tlogic eq 0) OR (opcte eq 1.) THEN BEGIN
;Caso o mapa de temperatura não exista
    print, 'Mapa de temperatura eletrônica de [N II] não encontrado ou opcao de se
trabalhar com temperatura constante selecionada.'
    print, 'Entre com o valor de temperatura eletrônica para o cálculo de Ne'
    read, temp
    WHILE (temp lt 1.E3 or temp gt 2.7E4) DO BEGIN ;o programa original
trabalha com valor máximo = 3.6E4, mas achamos melhor restringir um pouco mais
        print, 'Valor de temperatura fora do intervalo permitido. Digite o valor
novamente:'
        read, temp
    ENDWHILE

    TEM(*,*) = temp ;Mesmo trabalhando com uma temperatura fixa, deixarei
tudo em formalismo de matrizes, para simplificar a escrita do programa.

    print, ''
ENDIF

ENDIF

;Leitura do mapa de razão de linhas

```

```

IF (IONUM eq 7001) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de densidade eletrônica por [N I]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5200)/I(5198)'
  rzobs = DIR+'/ni5200_5198.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 7012) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [N II]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6548+6583)/I(5755) = '
  rzobs = DIR+'/nii6548_6583_5755.fits'
ENDIF

```

IF (IONUM eq 8002) THEN BEGIN ;Este bloco, correspondente a 8002, não aparece em De Robertis, Dufour & Hunt 1987.

```

  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [O I]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6300+6363)/I(5577) = ' ;Essas são as
linhas que aparecem no help da tarefa temden, apesar de este bloco não aparecer em De
Robertis, Dufour & Hunt 1987
  rzobs = DIR+'/oi6300_6363_5577.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 8011) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de densidade eletrônica por [O II]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(3726)/I(3729) = '
  rzobs = DIR+'/oii3726_3729.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 8012) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [O II]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(3727)/I(7324) = '
  rzobs = DIR+'/oii3727_7324.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 8022) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [O III]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(4959+5007)/I(4363) = '
  rzobs = DIR+'/oiii4959_5007_4363.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 10022) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [Ne III]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(3869+3969)/I(3342) = '
  rzobs = DIR+'/neiii3869_3969_3342.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 10031) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de densidade eletrônica por [Ne IV]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(2423)/I(2425) = '
  rzobs = DIR+'/neiv2423_2425.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 10042) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [Ne V]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(3426+3346)/I(2975) = '
  rzobs = DIR+'/nev3426_3346_2975.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 16011) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de densidade eletrônica por [S II]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6717)/I(6731) = '
  rzobs = DIR+'/sii6717_6731.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 16012) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [S II]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6716+6731)/I(4069+4076) = '
  rzobs = DIR+'/sii6716_6731_4069_4076.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 16022) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [S III]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(9069+9532)/I(6312) = '
  rzobs = DIR+'/siii9069_9532_6312.fits'
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 17021) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de densidade eletrônica por [Cl III]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5518)/I(5538) = '

```

```

    rzobs = DIR+'cliii5518_5538.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 17032) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [Cl IV]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(7530+8045)/I(5323) = '
    rzobs = DIR+'cliv7530_8045_5323.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 18022) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [Ar III]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(7136+7751)/I(5192) = '
    rzobs = DIR+'ariii7136_7751_5192.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 18031) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de densidade eletrônica por [Ar IV]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(4711)/I(4740) = '
    rzobs = DIR+'ariv4711_4740.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 18032) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [Ar IV]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(4711+4741)/I(2854+2868) = '
    rzobs = DIR+'ariv4711_4741_2854_2868.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 18042) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de temperatura eletrônica por [Ar V]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(6435+7006)/I(4626) = '
    rzobs = DIR+'arv6435_7006_4626.fits'
ENDIF

IF ((IONUM MOD 10) eq 1.) or ((IONUM MOD 10) eq 2.) THEN BEGIN
    FITS_READ, rzobs, ROBS, header
ENDIF

```

;Leitura dos mapas de emissão das linhas

```
IF (IONUM eq 7000) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de abundância de [N I]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5198+5200)'
  ilinha = DIR+'ni5198e5200.fits'
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 7010) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de abundância de [N II]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5755)'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6548)'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6583)'
  ilinha = DIR+'nii5755.fits'
  ilinhaii = DIR+'nii6548.fits'
  ilinhaiii = DIR+'nii6584.fits'
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 8000) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de abundância de [O I]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5577)'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6300)'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6363)'
  ilinha = DIR+'oi5577.fits'
  ilinhaii = DIR+'oi6300.fits'
  ilinhaiii = DIR+'oi6363.fits'
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 8010) THEN BEGIN ;Não disponível para NGC40
  print, 'Cálculo de abundância de [O II]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(3726)'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(3729)'
  ilinha = DIR+'oii3726.fits'
  ilinhaii = DIR+'oii3729.fits'
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 8020) THEN BEGIN
  print, 'Cálculo de abundância de [O III]'
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(4363)'
```

```

    print, 'Lendo imagem correspondente à I(4959)'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(5007)'
    ilinha = DIR+'oiii4363.fits'
    ilinhaii = DIR+'oiii4959.fits'
    ilinhaiii = DIR+'oiii5007.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 10020) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de abundância de [Ne III]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(3342)'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(3869)'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(3969)'
    ilinha = DIR+'neiii3342.fits'
    ilinhaii = DIR+'neiii3869.fits'
    ilinhaiii = DIR+'neiii3969.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 10030) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de abundância de [Ne IV]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(2423)'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(2425)'
    ilinha = DIR+'neiv2423.fits'
    ilinhaii = DIR+'neiv2425.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 10040) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de abundância de [Ne V]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(2975)'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(3346)'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(3426)'
    ilinha = DIR+'nev2975.fits'
    ilinhaii = DIR+'nev3346.fits'
    ilinhaiii = DIR+'nev3426.fits'
ENDIF

IF (IONUM eq 16010) THEN BEGIN
    print, 'Cálculo de abundância de [S II]'
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(4069 + 4076) '
    print, 'Lendo imagem correspondente à I(6717) '

```

```
print, 'Lendo imagem correspondente à I(6731) '  
  ilinha = DIR+' /sii4073.fits'  
  ilinhaii = DIR+' /sii6717.fits'  
  ilinhaiii = DIR+' /sii6731.fits'  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 16020) THEN BEGIN  
  print, 'Cálculo de abundância de [S III]'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(6312)'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(9069)'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(9532)'  
  ilinha = DIR+' /siii6312.fits'  
  ilinhaii = DIR+' /siii9069.fits'  
  ilinhaiii = DIR+' /siii9532.fits'  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 17010) THEN BEGIN  
  print, 'Cálculo de abundância de [Cl II]'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I()'  
  ilinha = DIR+' /siii.fits'  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 17020) THEN BEGIN  
  print, 'Cálculo de abundância de [Cl III]'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5517)'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5537)'  
  ilinha = DIR+' /cliii5517.fits'  
  ilinhaii = DIR+' /cliii5537.fits'  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 17030) THEN BEGIN  
  print, 'Cálculo de abundância de [Cl IV]'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(5323)'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(7530)'  
  print, 'Lendo imagem correspondente à I(8045)'  
  ilinha = DIR+' /cliii5323.fits'  
  ilinhaii = DIR+' /cliii7530.fits'  
  ilinhaiii = DIR+' /cliii8045.fits'
```

ENDIF

IF (IONUM eq 18020) THEN BEGIN

```
print, 'Cálculo de abundância de [Ar III]'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(5192)'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(7136)'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(7751)'  
ilinha = DIR+'/ariii5192.fits'  
ilinhaii = DIR+'/ariii7136.fits'  
ilinhaiii = DIR+'/ariii7751.fits'
```

ENDIF

IF (IONUM eq 18030) THEN BEGIN

```
print, 'Cálculo de abundância de [Ar IV]'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(4711)'  
ilinha = DIR+'/ariv4711.fits'
```

ENDIF

IF (IONUM eq 18040) THEN BEGIN

```
print, 'Cálculo de abundância de [Ar V]'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(4626)'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(6435)'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(7006)'  
ilinha = DIR+'/arv4626.fits'  
ilinhaii = DIR+'/arv6435.fits'  
ilinhaiii = DIR+'/arv7006.fits'
```

ENDIF

IF (IONUM eq 19030) THEN BEGIN

```
print, 'Cálculo de abundância de [K IV]'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(6102)'  
ilinha = DIR+'/kiv6102.fits'
```

ENDIF

IF (IONUM eq 19040) THEN BEGIN

```
print, 'Cálculo de abundância de [K V]'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(4123)'  
ilinha = DIR+'/kv4123.fits'
```


ENDIF

IF ((IONUM MOD 10) eq 0.) THEN BEGIN

FITS_READ, ilinha, ILI, header

ENDIF

IF (IONUM eq 2000) or (IONUM eq 7010) or (IONUM eq 8000) or (IONUM eq 8010)
or (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 10020) or (IONUM eq 10030) or (IONUM eq 10040)
or (IONUM eq 16010) or (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 17020) or (IONUM eq 17030)
or (IONUM eq 18020) or (IONUM eq 18040) THEN BEGIN

FITS_READ, ilinhaii, ILII, header

ENDIF

IF (IONUM eq 7010) or (IONUM eq 8000) or (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 10020)
or (IONUM eq 10040) or (IONUM eq 16010) or (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 17030)
or (IONUM eq 18020) or (IONUM eq 18040) THEN BEGIN

FITS_READ, ilinhaiii, ILIII, header

ENDIF

;Leitura dos mapas para cálculo de abundâncias totais:

IF (IONUM eq 2003) THEN BEGIN

print, 'Lendo imagem correspondente à I(4471)'

print, 'Lendo imagem correspondente à I(5876)'

print, 'Lendo imagem correspondente à I(6678)'

ilinha = DIR+'/hei4471.fits'

ilinhaii = DIR+'/hei5876.fits'

ilinhaiii = DIR+'/hei6678.fits'

FITS_READ, ilinha, ILI, header

FITS_READ, ilinhaii, ILII, header

FITS_READ, ilinhaiii, ILIII, header

ENDIF

RETURN

END

Par I

```
; «< SUBROTINA PAR I »>
```

```
;(Fornece os dados atômicos independentes de T, lidos do arquivo do IRAF).
```

```
;------  
;|                SUBROTINA PAR_I                |  
;|                |                                |  
;|T:              Diferença de energia para o estado fundamental em 1/Ang. |  
;|WEIGHT:         Peso estatístico de cada nível. |  
;|A:              Probabilidades das transições radiativas. |  
;|Ai:            Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(n=1) |  
;|Aii:           Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(n=2) |  
;|Aiii:          Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(n=3) |  
;|Aiv:           Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(n=4) |  
;|Av:            Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(n=5) |  
;|-----|
```

```
PRO PARI, IONUM, A, T, WEIGHT, iraf
```

```
WEIGHT = indgen(5)*0
```

```
A = dindgen(5,5)*0.
```

```
T = dindgen(5)*0.
```

```
;------
```

```
;Teste para saber se a máquina possui os dados atômicos no diretório
```

```
;padrão do IRAF:
```

```
iraf = findfile('/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/*fits')
```

```
;Em computadores sem IRAF:
```

```
IF (n_elements(iraf) eq 0) THEN BEGIN
```

```
    print, ‘
```

```
    print, ‘
```

```
    print, ‘
```

print, 'Este programa está ajustado de forma a ler os dados atômicos da base IRAF, programa este que supões estar instalado na máquina de trabalho.'

print, 'Foi detectado que esta máquina não possui não contém essa base de dados. Ainda assim, este programa está apto a funcionar, desde que ele seja lançado a partir de seu diretório, que contém uma pasta chamada atomic_data.'

print, ''

print, 'Caso vocês esteja trabalhando fora deste diretório, o programa acusará um erro e não rodará. Caso contrário ele continuará normalmente.'

print, ''

print, ''

print, ''

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N I ~~~~~

```
IF (IONUM eq 7000) or (IONUM eq 7001) or (IONUM eq 7002) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF
```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N II ~~~~~

```
IF (IONUM eq 7010) or (IONUM eq 7011) or (IONUM eq 7012) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF
```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O I ~~~~~

```
IF (IONUM eq 8000) or (IONUM eq 8001) or (IONUM eq 8002) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF
```

```

    FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O II ~~~~~
IF (IONUM eq 8010) or (IONUM eq 8011) or (IONUM eq 8012) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O III ~~~~~
IF (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 8021) or (IONUM eq 8022) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne III ~~~~~
IF (IONUM eq 10020) or (IONUM eq 10021) or (IONUM eq 10022) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne IV ~~~~~
IF (IONUM eq 10030) or (IONUM eq 10031) or (IONUM eq 10032) THEN BEGIN

```

```

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne V ~~~~~
IF (IONUM eq 10040) or (IONUM eq 10041) or (IONUM eq 10042) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S II ~~~~~
IF (IONUM eq 16010) or (IONUM eq 16011) or (IONUM eq 16012) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S III ~~~~~
IF (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 16021) or (IONUM eq 16022) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]

```

```

    FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl III ~~~~~
IF (IONUM eq 17020) or (IONUM eq 17021) or (IONUM eq 17022) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iii_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl IV ~~~~~
IF (IONUM eq 17030) or (IONUM eq 17031) or (IONUM eq 17032) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_atom.fits", 7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar III ~~~~~
IF (IONUM eq 18020) or (IONUM eq 18021) or (IONUM eq 18022) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar IV ~~~~~
IF (IONUM eq 18030) or (IONUM eq 18031) or (IONUM eq 18032) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]

```

```

FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar V ~~~~~
IF (IONUM eq 18040) or (IONUM eq 18041) or (IONUM eq 18042) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K IV ~~~~~
IF (IONUM eq 19030) or (IONUM eq 19031) or (IONUM eq 19032) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K V ~~~~~
IF (IONUM eq 19040) or (IONUM eq 19041) or (IONUM eq 19042) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_v_atom.fits", 1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_v_atom.fits", 2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_v_atom.fits", 3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_v_atom.fits", 4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_v_atom.fits", 5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_v_atom.fits", 6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF

ENDIF

```

;Em computadores com IRAF:

```
IF (n_elements(iraf) ne 0) THEN BEGIN
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N I ~~~~~
```

```
  IF (IONUM eq 7000) or (IONUM eq 7001) or (IONUM eq 7002) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
  ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N II ~~~~~
```

```
  IF (IONUM eq 7010) or (IONUM eq 7011) or (IONUM eq 7012) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
```


ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O I ~~~~~

```
IF (IONUM eq 8000) or (IONUM eq 8001) or (IONUM eq 8002) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF
```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O II ~~~~~

```
IF (IONUM eq 8010) or (IONUM eq 8011) or (IONUM eq 8012) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
ENDIF
```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O III ~~~~~

```
IF (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 8021) or (IONUM eq 8022) THEN BEGIN
```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne III ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 10020) or (IONUM eq 10021) or (IONUM eq 10022) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne IV ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 10030) or (IONUM eq 10031) or (IONUM eq 10032) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]

```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne V ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 10040) or (IONUM eq 10041) or (IONUM eq 10042) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S II ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 16010) or (IONUM eq 16011) or (IONUM eq 16012) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]

```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S III ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 16021) or (IONUM eq 16022) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl III ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 17020) or (IONUM eq 17021) or (IONUM eq 17022) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]

```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl IV ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 17030) or (IONUM eq 17031) or (IONUM eq 17032) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_atom.fits",
7, Av, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar III ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 18020) or (IONUM eq 18021) or (IONUM eq 18022) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]

```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar IV ~~~~~

```

```

    IF (IONUM eq 18030) or (IONUM eq 18031) or (IONUM eq 18032) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar V ~~~~~

```

```

    IF (IONUM eq 18040) or (IONUM eq 18041) or (IONUM eq 18042) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K IV ~~~~~

```

```

    IF (IONUM eq 19030) or (IONUM eq 19031) or (IONUM eq 19032) THEN BEGIN

```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K V ~~~~~

```

    IF (IONUM eq 19040) or (IONUM eq 19041) or (IONUM eq 19042) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_atom.fits",
1, T, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_atom.fits",
2, WEIGHT, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_atom.fits",
3, Ai, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_atom.fits",
4, Aii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_atom.fits",
5, Aiii, rows=[0,1,2,3,4]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_atom.fits",
6, Aiv, rows=[0,1,2,3,4]
    ENDIF

```

ENDIF

```

FOR j = 0, 4 DO BEGIN
    A(0,j) = Ai(j)
ENDFOR

```

```

FOR j = 0, 4 DO BEGIN
    A(1,j) = Aii(j)

```

ENDFOR

FOR j = 0, 4 DO BEGIN

 A(2,j) = Aiii(j)

ENDFOR

FOR j = 0, 4 DO BEGIN

 A(3,j) = Aiv(j)

ENDFOR

IF (IONUM eq 7000) or (IONUM eq 7001) or (IONUM eq 7002) or (IONUM eq 7010)
or (IONUM eq 7011) or (IONUM eq 7012) or (IONUM eq 8010) or (IONUM eq 8011) or
(IONUM eq 8012) or (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 8021) or (IONUM eq 8022) or
(IONUM eq 10030) or (IONUM eq 10031) or (IONUM eq 10032) or (IONUM eq 10040)
or (IONUM eq 10041) or (IONUM eq 10042) or (IONUM eq 16010) or (IONUM eq 16011)
or (IONUM eq 16012) or (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 16021) or (IONUM eq 16022)
or (IONUM eq 17020) or (IONUM eq 17021) or (IONUM eq 17022) or (IONUM eq 17030)
or (IONUM eq 17031) or (IONUM eq 17032) THEN BEGIN

 FOR j = 0, 4 DO BEGIN

 A(4,j) = Av(j)

 ENDFOR

ENDIF

RETURN

END

Par II

```
; «< SUBROTINA PAR II »>
```

```
;(Fornece os dados atômicos dependentes de T, lidos do arquivo do IRAF).
```

```
;-
;|          SUBROTINA PAR_II          |
;|          |                          |
;|C:        Forças de colisão.        |
;|C21:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(2->1) |
;|C31:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(3->1) |
;|C41:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(4->1) |
;|C51:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(5->1) |
;|C32:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(3->2) |
;|C42:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(4->2) |
;|C43:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(4->4) |
;|C52:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(5->2) |
;|C53:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(5->3) |
;|C54:      Variável criada para leitura do parâmetro físico iônico.(5->4) |
;|teiraf:   Variável de leitura de temperatura os parâmetros do IRAF.    |
;|logteiraf: Variável de leitura de temperatura os parâmetros do IRAF.  |
;|-----|
```

```
PRO PARII, szx,szy,IONUM, TEM, C, A, T, WEIGHT
```

```
T4 = dindgen(szx,szy)*0.
```

```
C = dindgen(5,5,szx,szy)*0. ;Para cada pixel, haverá um valor de C entre cada transição de níveis considerada.
```

```
T4 = 1.E-4*TEM
```

```
iraf = findfile('/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/*fits')
```

```
;Em computadores sem IRAF:
```

```
IF (n_elements(iraf) eq 0) THEN BEGIN
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N I ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 7000) or (IONUM eq 7001) or (IONUM eq 7002) THEN BEGIN
```

```

FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 3, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 2, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 9, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 10, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 7, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 8, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
FTAB_EXT, "atomic_data/n_i_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]

```

```
teiraf = teiraf * 10000.
```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```

```
IF ((TEM(i,j) lt 4500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```

    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.

```

ENDIF

ENDFOR

ENDFOR

ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N II ~~~~~

IF (IONUM eq 7010) or (IONUM eq 7011) or (IONUM eq 7012) THEN BEGIN

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/n_ii_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN

FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

BEGIN

C(0,1,i,j) = 0.

C(0,2,i,j) = 0.

C(0,3,i,j) = 0.

```

C(0,4,i,j) = 0.
C(1,2,i,j) = 0.
C(1,3,i,j) = 0.
C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.
ENDIF

```

```

ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O I ~~~~~

```

IF (IONUM eq 8000) or (IONUM eq 8001) or (IONUM eq 8002) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 1, teiraf, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 10, C53, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_i_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2]

```

```

teiraf = teiraf * 10000.

```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```

```

C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```

```

IF ((TEM(i,j) lt 3500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN

```

```

  C(0,1,i,j) = 0.
  C(0,2,i,j) = 0.
  C(0,3,i,j) = 0.
  C(0,4,i,j) = 0.
  C(1,2,i,j) = 0.
  C(1,3,i,j) = 0.
  C(1,4,i,j) = 0.
  C(2,3,i,j) = 0.
  C(2,4,i,j) = 0.
  C(3,4,i,j) = 0.

```

```

ENDIF

```

```

  ENDFOR

```

```

ENDFOR

```

```

ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O II ~~~~~

```

```

IF (IONUM eq 8010) or (IONUM eq 8011) or (IONUM eq 8012) THEN BEGIN

```

```

  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 3, C21, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 2, C31, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 5, C41, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 4, C51, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 10, C42, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 9, C52, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 8, C43, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 7, C53, rows=[0,1,2,3,4,5]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_ii_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5]

```

```

  teiraf = teiraf * 10000.

```

```

  FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN

```

```
FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
  C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
  IF ((TEM(i,j) lt 3500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O III ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 8021) or (IONUM eq 8022) THEN BEGIN
```

```
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```

FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 10, C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/o_iii_coll.fits", 11, C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

    IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.

```

```

  ENDIF

```

```

  ENDFOR

```

```

ENDFOR

```

```

ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne III ~~~~~

```

```

IF (IONUM eq 10020) or (IONUM eq 10021) or (IONUM eq 10022) THEN BEGIN

```

```

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 10, C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iii_coll.fits", 11, C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

    IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.

```


ENDIF

ENDFOR

ENDFOR

ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne IV ~~~~~

IF (IONUM eq 10030) or (IONUM eq 10031) or (IONUM eq 10032) THEN BEGIN

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 3, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 2, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 9, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 10, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 7, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 8, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

FTAB_EXT, "atomic_data/ne_iv_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

teiraf = teiraf * 10000.

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN

FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

IF ((TEM(i,j) lt 3500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN

C(0,1,i,j) = 0.

C(0,2,i,j) = 0.

```

C(0,3,i,j) = 0.
C(0,4,i,j) = 0.
C(1,2,i,j) = 0.
C(1,3,i,j) = 0.
C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.
ENDIF

```

```

ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne V ~~~~~

```

IF (IONUM eq 10040) or (IONUM eq 10041) or (IONUM eq 10042) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ne_v_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (sxx-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (syy-1) DO BEGIN

```

```

C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

      IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
BEGIN
      C(0,1,i,j) = 0.
      C(0,2,i,j) = 0.
      C(0,3,i,j) = 0.
      C(0,4,i,j) = 0.
      C(1,2,i,j) = 0.
      C(1,3,i,j) = 0.
      C(1,4,i,j) = 0.
      C(2,3,i,j) = 0.
      C(2,4,i,j) = 0.
      C(3,4,i,j) = 0.
      ENDIF

      ENDFOR
    ENDFOR
  ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S II ~~~~~

```

IF (IONUM eq 16010) or (IONUM eq 16011) or (IONUM eq 16012) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 9, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 10, C42,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 11, C52,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 15, C43,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 16, C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "atomic_data/s_ii_coll.fits", 20, C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

IF ( ALOG10(TEM(i,j)) lt 3.4 OR ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5 ) THEN

```

```

BEGIN

```

```

C(0,1,i,j) = 0.
C(0,2,i,j) = 0.
C(0,3,i,j) = 0.
C(0,4,i,j) = 0.
C(1,2,i,j) = 0.
C(1,3,i,j) = 0.
C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.

```

```

ENDIF

```

```

ENDFOR

```

```

ENDFOR

```

```

ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S III ~~~~~

```

```

IF (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 16021) or (IONUM eq 16022) THEN BEGIN

```

```

FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
FTAB_EXT, "atomic_data/s_iii_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
```

```
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
```

```
BEGIN
```

```
  C(0,1,i,j) = 0.
```

```
  C(0,2,i,j) = 0.
```

```
  C(0,3,i,j) = 0.
```

```
  C(0,4,i,j) = 0.
```

```
  C(1,2,i,j) = 0.
```

```
  C(1,3,i,j) = 0.
```

```
  C(1,4,i,j) = 0.
```

```
  C(2,3,i,j) = 0.
```

```
  C(2,4,i,j) = 0.
```

```
  C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl III ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 17020) or (IONUM eq 17021) or (IONUM eq 17022) THEN BEGIN
```

```
  FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",1,teiraf,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
```

```
  FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",2,C21,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
```

```

FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",3,C31,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",4,C41,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",5,C51,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",6,C32,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",7,C42,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",8,C52,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",9,C43,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",10,C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
FTAB_EXT,"atomic_data/cl_iii_coll.fits",11,C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

```

```
teiraf = teiraf * 10000.
```

```
FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
```

```
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
  IF ((TEM(i,j) lt 1000.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.
```

```
    C(0,2,i,j) = 0.
```

```
    C(0,3,i,j) = 0.
```

```
    C(0,4,i,j) = 0.
```

```
    C(1,2,i,j) = 0.
```

```
    C(1,3,i,j) = 0.
```

```
    C(1,4,i,j) = 0.
```

```
    C(2,3,i,j) = 0.
```

```
    C(2,4,i,j) = 0.
```

```
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```

        ENDFOR
    ENDFOR
ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl IV ~~~~~

```

```

IF (IONUM eq 17030) or (IONUM eq 17031) or (IONUM eq 17032) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 10, C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/cl_iv_coll.fits", 11, C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

        IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = 0.
        C(0,2,i,j) = 0.
        C(0,3,i,j) = 0.
        C(0,4,i,j) = 0.
        C(1,2,i,j) = 0.

```

```

        C(1,3,i,j) = 0.
        C(1,4,i,j) = 0.
        C(2,3,i,j) = 0.
        C(2,4,i,j) = 0.
        C(3,4,i,j) = 0.
    ENDIF

    ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar III ~~~~~

```

IF (IONUM eq 18020) or (IONUM eq 18021) or (IONUM eq 18022) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 10, C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iii_coll.fits", 11, C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

    FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
        FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

            C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
            C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```



```

                IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
BEGIN
    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.
                ENDIF

                ENDFOR
            ENDFOR
        ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar IV ~~~~~

```

IF (IONUM eq 18030) or (IONUM eq 18031) or (IONUM eq 18032) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",1,teiraf,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",2,C21,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",3,C31,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",4,C41,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",5,C51,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",6,C32,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",7,C42,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",8,C52,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "atomic_data/ar_iv_coll.fits",9,C43,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT,"atomic_data/ar_iv_coll.fits",10,C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT,"atomic_data/ar_iv_coll.fits",11,C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

```

```

teiraf = teiraf * 10000.

```

```

FOR i = 0, (sxx-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```

```

C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```

```

IF ((TEM(i,j) lt 1000.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN

```

```

  C(0,1,i,j) = 0.
  C(0,2,i,j) = 0.
  C(0,3,i,j) = 0.
  C(0,4,i,j) = 0.
  C(1,2,i,j) = 0.
  C(1,3,i,j) = 0.
  C(1,4,i,j) = 0.
  C(2,3,i,j) = 0.
  C(2,4,i,j) = 0.
  C(3,4,i,j) = 0.

```

```

  ENDIF

```

```

  ENDFOR

```

```

ENDFOR

```

```

ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar V ~~~~~

```

```

IF (IONUM eq 18040) or (IONUM eq 18041) or (IONUM eq 18042) THEN BEGIN

```

```

  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```
FTAB_EXT, "atomic_data/ar_v_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
```

```
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
```

```
  BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.
```

```
    C(0,2,i,j) = 0.
```

```
    C(0,3,i,j) = 0.
```

```
    C(0,4,i,j) = 0.
```

```
    C(1,2,i,j) = 0.
```

```
    C(1,3,i,j) = 0.
```

```
    C(1,4,i,j) = 0.
```

```
    C(2,3,i,j) = 0.
```

```
    C(2,4,i,j) = 0.
```

```
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```
  ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K IV ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 19030) or (IONUM eq 19031) or (IONUM eq 19032) THEN BEGIN
```

```
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
  FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```

FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
FTAB_EXT, "atomic_data/k_iv_coll.fits", 11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN

```

```

    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

        IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = 0.
        C(0,2,i,j) = 0.
        C(0,3,i,j) = 0.
        C(0,4,i,j) = 0.
        C(1,2,i,j) = 0.
        C(1,3,i,j) = 0.
        C(1,4,i,j) = 0.
        C(2,3,i,j) = 0.
        C(2,4,i,j) = 0.
        C(3,4,i,j) = 0.

```

```

    ENDIF

```

```

ENDFOR

```

```

ENDFOR

```

ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K V ~~~~~

IF (IONUM eq 19040) or (IONUM eq 19041) or (IONUM eq 19042) THEN BEGIN

FTAB\_EXT,"atomic\_data/k\_v\_coll.fits",1,teiraf,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 2, C21,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 3, C31,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 4, C41,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 5, C51,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 11,C32,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 6, C42,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 7, C52,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 8, C43,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 9, C53,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]  
FTAB\_EXT, "atomic\_data/k\_v\_coll.fits", 10,C54,rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

teiraf = teiraf \* 10000.

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN

FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

IF ((TEM(i,j) lt 1000.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN

C(0,1,i,j) = 0.  
C(0,2,i,j) = 0.  
C(0,3,i,j) = 0.  
C(0,4,i,j) = 0.  
C(1,2,i,j) = 0.  
C(1,3,i,j) = 0.

```

        C(1,4,i,j) = 0.
        C(2,3,i,j) = 0.
        C(2,4,i,j) = 0.
        C(3,4,i,j) = 0.
    ENDIF

```

```

        ENDFOR
    ENDFOR
ENDIF

```

```
ENDIF
```

```
;Em computadores com IRAF:
```

```
IF (n_elements(iraf) ne 0) THEN BEGIN
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N I ~~~~~
```

```

    IF (IONUM eq 7000) or (IONUM eq 7001) or (IONUM eq 7002) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
3, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
2, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
9, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
10, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
7, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",
8, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
    ENDIF

```

```
FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_i_coll.fits",  
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]
```

```
teiraf = teiraf * 10000.
```

```
FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN  
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
  IF ((TEM(i,j) lt 4500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.  
    C(0,2,i,j) = 0.  
    C(0,3,i,j) = 0.  
    C(0,4,i,j) = 0.  
    C(1,2,i,j) = 0.  
    C(1,3,i,j) = 0.  
    C(1,4,i,j) = 0.  
    C(2,3,i,j) = 0.  
    C(2,4,i,j) = 0.  
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon N II ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 7010) or (IONUM eq 7011) or (IONUM eq 7012) THEN BEGIN
```

```

    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/n_ii_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

        IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```



```

C(0,1,i,j) = 0.
C(0,2,i,j) = 0.
C(0,3,i,j) = 0.
C(0,4,i,j) = 0.
C(1,2,i,j) = 0.
C(1,3,i,j) = 0.
C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.
ENDIF

```

```

ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O I ~~~~~

```

IF (IONUM eq 8000) or (IONUM eq 8001) or (IONUM eq 8002) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
1, teiraf, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2]

```

```
FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_i_coll.fits",  
11, C54, rows=[0,1,2]
```

```
teiraf = teiraf * 10000.
```

```
FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN  
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
  IF ((TEM(i,j) lt 3500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.  
    C(0,2,i,j) = 0.  
    C(0,3,i,j) = 0.  
    C(0,4,i,j) = 0.  
    C(1,2,i,j) = 0.  
    C(1,3,i,j) = 0.  
    C(1,4,i,j) = 0.  
    C(2,3,i,j) = 0.  
    C(2,4,i,j) = 0.  
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O II ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 8010) or (IONUM eq 8011) or (IONUM eq 8012) THEN BEGIN
```

```

    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
3, C21, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
2, C31, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
5, C41, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
4, C51, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
10, C42, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
9, C52, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
8, C43, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
7, C53, rows=[0,1,2,3,4,5]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_ii_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5]

```

```
teiraf = teiraf * 10000.
```

```

FOR i = 0, (sxx-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (syy-1) DO BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```

```

IF ((TEM(i,j) lt 3500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
  C(0,1,i,j) = 0.
  C(0,2,i,j) = 0.
  C(0,3,i,j) = 0.
  C(0,4,i,j) = 0.
  C(1,2,i,j) = 0.
  C(1,3,i,j) = 0.
  C(1,4,i,j) = 0.
  C(2,3,i,j) = 0.
  C(2,4,i,j) = 0.
  C(3,4,i,j) = 0.
ENDIF

```

```

ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon O III ~~~~~

```

IF (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 8021) or (IONUM eq 8022) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/o_iii_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

    IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.

```

```

  ENDIF

```

```

ENDFOR

```

```

ENDFOR

```

```

ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne III ~~~~~

```

```

  IF (IONUM eq 10020) or (IONUM eq 10021) or (IONUM eq 10022) THEN BEGIN

```

```

    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iii_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

        IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
BEGIN
        C(0,1,i,j) = 0.
        C(0,2,i,j) = 0.

```

```

C(0,3,i,j) = 0.
C(0,4,i,j) = 0.
C(1,2,i,j) = 0.
C(1,3,i,j) = 0.
C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.
ENDIF

```

```

ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne IV ~~~~~

```

IF (IONUM eq 10030) or (IONUM eq 10031) or (IONUM eq 10032) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
3, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
2, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
9, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
10, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
7, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
8, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_iv_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```
teiraf = teiraf * 10000.
```

```
FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN  
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)  
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
  IF ((TEM(i,j) lt 3500.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.  
    C(0,2,i,j) = 0.  
    C(0,3,i,j) = 0.  
    C(0,4,i,j) = 0.  
    C(1,2,i,j) = 0.  
    C(1,3,i,j) = 0.  
    C(1,4,i,j) = 0.  
    C(2,3,i,j) = 0.  
    C(2,4,i,j) = 0.  
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ne V ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 10040) or (IONUM eq 10041) or (IONUM eq 10042) THEN BEGIN
```

```
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",  
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",  
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```



```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ne_v_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

        IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = 0.
        C(0,2,i,j) = 0.
        C(0,3,i,j) = 0.
        C(0,4,i,j) = 0.

```

```

C(1,2,i,j) = 0.
C(1,3,i,j) = 0.
C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.
ENDIF

```

```

ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S II ~~~~~

```

IF (IONUM eq 16010) or (IONUM eq 16011) or (IONUM eq 16012) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
9, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
10, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
11, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
15, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
16, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_ii_coll.fits",
20, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN

```

```
FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
```

```
    IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 3.4 OR ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5 ) THEN
```

```
BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
ENDIF
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon S III ~~~~~
```

```
IF (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 16021) or (IONUM eq 16022) THEN BEGIN
```

```
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```

    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/s_iii_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

    IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
BEGIN
    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.

```

```

        C(1,4,i,j) = 0.
        C(2,3,i,j) = 0.
        C(2,4,i,j) = 0.
        C(3,4,i,j) = 0.
    ENDIF

```

```

    ENDFOR
  ENDFOR
ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl III ~~~~~

```

```

    IF (IONUM eq 17020) or (IONUM eq 17021) or (IONUM eq 17022) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iii_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

        teiraf = teiraf * 10000.

```

```

    FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN

```

```
FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```
  C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
  C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
  IF ((TEM(i,j) lt 1000.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```
    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.
    C(1,4,i,j) = 0.
    C(2,3,i,j) = 0.
    C(2,4,i,j) = 0.
    C(3,4,i,j) = 0.
```

```
  ENDIF
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Cl IV ~~~~~
```

```
  IF (IONUM eq 17030) or (IONUM eq 17031) or (IONUM eq 17032) THEN BEGIN
```

```
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
  1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
  2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
  3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
```

```

    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/cl_iv_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

        IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
BEGIN
    C(0,1,i,j) = 0.
    C(0,2,i,j) = 0.
    C(0,3,i,j) = 0.
    C(0,4,i,j) = 0.
    C(1,2,i,j) = 0.
    C(1,3,i,j) = 0.

```

```

C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.
ENDIF

```

```

ENDFOR
ENDFOR
ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar III ~~~~~

```

```

IF (IONUM eq 18020) or (IONUM eq 18021) or (IONUM eq 18022) THEN BEGIN
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
  FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iii_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```



```

C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

C(0,1,i,j) = 0.
C(0,2,i,j) = 0.
C(0,3,i,j) = 0.
C(0,4,i,j) = 0.
C(1,2,i,j) = 0.
C(1,3,i,j) = 0.
C(1,4,i,j) = 0.
C(2,3,i,j) = 0.
C(2,4,i,j) = 0.
C(3,4,i,j) = 0.

```

```

ENDIF

```

```

ENDFOR

```

```

ENDFOR

```

```

ENDIF

```

```

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar IV ~~~~~

```

```

IF (IONUM eq 18030) or (IONUM eq 18031) or (IONUM eq 18032) THEN BEGIN

```

```

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

```

```

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

```

```

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

```

```

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

```

```

    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_iv_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

```

```
teiraf = teiraf * 10000.
```

```
FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
```

```
  FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN
```

```

    C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
    C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```

```
IF ((TEM(i,j) lt 1000.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```

  C(0,1,i,j) = 0.
  C(0,2,i,j) = 0.
  C(0,3,i,j) = 0.
  C(0,4,i,j) = 0.
  C(1,2,i,j) = 0.
  C(1,3,i,j) = 0.
  C(1,4,i,j) = 0.

```

```

        C(2,3,i,j) = 0.
        C(2,4,i,j) = 0.
        C(3,4,i,j) = 0.
    ENDIF

    ENDFOR
  ENDFOR
ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon Ar V ~~~~~
  IF (IONUM eq 18040) or (IONUM eq 18041) or (IONUM eq 18042) THEN BEGIN
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
    FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/ar_v_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

    FOR i = 0, (szx-1) DO BEGIN
      FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

      IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN
BEGIN
      C(0,1,i,j) = 0.
      C(0,2,i,j) = 0.
      C(0,3,i,j) = 0.
      C(0,4,i,j) = 0.
      C(1,2,i,j) = 0.
      C(1,3,i,j) = 0.
      C(1,4,i,j) = 0.
      C(2,3,i,j) = 0.
      C(2,4,i,j) = 0.
      C(3,4,i,j) = 0.
      ENDIF

      ENDFOR
    ENDFOR
  ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K IV ~~~~~
      IF (IONUM eq 19030) or (IONUM eq 19031) or (IONUM eq 19032) THEN BEGIN
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
1, logteiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
6, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
7, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
8, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
9, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
10, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]
        FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_iv_coll.fits",
11, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7]

```

```

FOR i = 0, (szz-1) DO BEGIN
    FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = interpol(C21,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,2,i,j) = interpol(C31,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,3,i,j) = interpol(C41,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(0,4,i,j) = interpol(C51,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,2,i,j) = interpol(C32,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,3,i,j) = interpol(C42,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(1,4,i,j) = interpol(C52,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,3,i,j) = interpol(C43,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(2,4,i,j) = interpol(C53,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)
        C(3,4,i,j) = interpol(C54,logteiraf,ALOG10(TEM(i,j)),/QUADRATIC)

```

```

        IF (ALOG10(TEM(i,j)) lt 2.9) OR (ALOG10(TEM(i,j)) gt 4.5) THEN

```

```

BEGIN

```

```

        C(0,1,i,j) = 0.
        C(0,2,i,j) = 0.
        C(0,3,i,j) = 0.
        C(0,4,i,j) = 0.
        C(1,2,i,j) = 0.
        C(1,3,i,j) = 0.
        C(1,4,i,j) = 0.
        C(2,3,i,j) = 0.
        C(2,4,i,j) = 0.
        C(3,4,i,j) = 0.

```

ENDIF

ENDFOR

ENDFOR

ENDIF

;~~~~~ Parâmetros Físicos do Íon K V ~~~~~

IF (IONUM eq 19040) or (IONUM eq 19041) or (IONUM eq 19042) THEN BEGIN

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
1, teiraf, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
2, C21, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
3, C31, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
4, C41, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
5, C51, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
11, C32, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
6, C42, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
7, C52, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
8, C43, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
9, C53, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

FTAB_EXT, "/iraf/extern/stsdas/pkg/analysis/nebular/atomic_data/k_v_coll.fits",
10, C54, rows=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]

teiraf = teiraf * 10000.

FOR i = 0, (sxx-1) DO BEGIN

FOR j = 0, (szy-1) DO BEGIN

C(0,1,i,j) = interpol(C21,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(0,2,i,j) = interpol(C31,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

C(0,3,i,j) = interpol(C41,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)

```
C(0,4,i,j) = interpol(C51,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,2,i,j) = interpol(C32,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,3,i,j) = interpol(C42,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(1,4,i,j) = interpol(C52,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(2,3,i,j) = interpol(C43,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(2,4,i,j) = interpol(C53,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
C(3,4,i,j) = interpol(C54,teiraf,TEM(i,j),/QUADRATIC)
```

```
IF ((TEM(i,j) lt 1000.) OR (TEM(i,j) gt 21000.)) THEN BEGIN
```

```
  C(0,1,i,j) = 0.
```

```
  C(0,2,i,j) = 0.
```

```
  C(0,3,i,j) = 0.
```

```
  C(0,4,i,j) = 0.
```

```
  C(1,2,i,j) = 0.
```

```
  C(1,3,i,j) = 0.
```

```
  C(1,4,i,j) = 0.
```

```
  C(2,3,i,j) = 0.
```

```
  C(2,4,i,j) = 0.
```

```
  C(3,4,i,j) = 0.
```

```
ENDIF
```

```
  ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
RETURN
```

```
END
```

Solve

; «< SUBROTINA SOLVE »>
;(Opera algebra matricial. Encontra as populacoes dos niveis e emissividades em funcao de Ne e Te e densidades criticas).

```
;-----  
;|                SUBROTINA SOLVE                |  
;|-----|  
;|TS:   Raiz quadrada da temperatura.           |  
;|POP1: Matriz de armazenamento das populacoes dos niveis. |  
;|POP:  Matriz de populacao do nivel.           |  
;|A:    Probabilidades de transicoes radiativas. |  
;|C:    Forcas de colisao.                      |  
;|Q:    Probabilidades de transicoes colisionais |  
;|E:    Separacao relativa de energia.         |  
;|KT:   Constante.                             |  
;|HC:   Constante.                             |  
;|CQ:   Constante.                             |  
;|-----|
```

PRO SOLVE, T, C, DEN, TEM, WEIGHT, A, szx, szy, POP, JL, NCRIT

```
E = dindgen(5,5)*0.  
Q = dindgen(5,5,szx,szy)*0.  
A1 = dindgen(5,5,szx,szy)*0.  
A2 = dindgen(5,5,szx,szy)*0.  
JL = dindgen(5,5,szx,szy)*0.  
POP = dindgen(5,szx,szy)*0.  
B1 = dindgen(5,szx,szy)*0.  
B2 = dindgen(5,szx,szy)*0.  
DTL = dindgen(5,szx,szy)*0.  
POP1 = dindgen(5,szx,szy)*0.  
NCRIT = dindgen(5,szx,szy)*0.  
T1 = dindgen(szx,szy)*0.  
T2 = dindgen(szx,szy)*0.  
KT = dindgen(szx,szy)*0.  
TS = dindgen(szx,szy)*0.  
QSUM = dindgen(szx,szy)*0.
```


QSUM2 = dindgen(szx,szy)*0.

HC = dindgen(1)*0.

HC = 1.9865E-8

CQ = 8.629E-6

KT = (1.3807E-16)*TEM

TS = SQRT(TEM)

;Diferencas de energia de transicao

FOR i = 0,4 DO BEGIN

FOR j = (i+1),4 DO BEGIN

E(j,i) = HC*(T(j)-T(i))

ENDFOR

ENDFOR

;Probabilidades de transicao colisional (se i=j, Q=0)

FOR i = 0,4 DO BEGIN

FOR j = 0,4 DO BEGIN

IF (j gt i) THEN Q(i,j,*,*) = CQ*C(i,j,*,*)*EXP(-E(j,i)/KT(*,*)/(WEIGHT(i)*TS(*,*)

IF (j eq i) THEN Q(i,j,*,*) = 0.

IF (j lt i) THEN Q(i,j,*,*) = CQ*C(j,i,*,*)/(WEIGHT(i)*TS(*,*)

ENDFOR

ENDFOR

;Calculo da densidade critica

FOR i = 1,4 DO BEGIN

ASUM = 0.

QSUM = dindgen(szx,szy)*0.

FOR j = 0,i-1 DO BEGIN

ASUM = ASUM + A(j,i)

```

ENDFOR

FOR j = 0,4 DO BEGIN
  IF (j ne i) THEN QSUM = QSUM + Q(i,j,*,*)
ENDFOR

  NCRIT(i,*,*) = ASUM/QSUM(*,*)
ENDFOR

;Manipulacao de matriz

FOR i=0,4 DO BEGIN
  FOR j=0,4 DO BEGIN
    IF (j eq i) THEN A1(i,j,*,*) = 0.0
    IF (j gt i) THEN A1(i,j,*,*) = DEN(*,*)*Q(i,j,*,*)
    IF (j lt i) THEN A1(i,j,*,*) = DEN(*,*)*Q(i,j,*,*)+A(j,i)
  ENDFOR
ENDFOR

FOR i = 0,4 DO BEGIN
  FOR j = 0,4 DO BEGIN
    B1(i,*,*) = B1(i,*,*)+A1(i,j,*,*)
  ENDFOR
ENDFOR

FOR i = 0,4 DO BEGIN
  B2(i,*,*) = -A1(0,i,*,*)
  A1(i,i,*,*) = -B1(i,*,*)
ENDFOR

FOR i = 0,4 DO BEGIN

  FOR j = 0,4 DO BEGIN
    FOR k = 0,4 DO BEGIN
      A2(j,k,*,*) = A1(j,k,*,*)
    ENDFOR
  ENDFOR

  FOR j = 0,4 DO BEGIN

```

```

    A2(i,j,*,*) = B2(j,*,*)
ENDFOR

DTL(i,*,*) = 1.

FOR j = 1,3 DO BEGIN

    T1(*,*) = A2(j,j,*,*)
    pl = where(T1 eq 0.,cl)
    IF (cl gt 0) then print, 'Denominador igual a 0(zero) ao normalizar T1 em
SOLVE'
    DTL(i,*,*) = DTL(i,*,*) * T1(*,*)

    pl = where(T1 ne 0.,cl)
    IF (cl gt 0) THEN BEGIN
        FOR k=j,4 DO BEGIN
            A2(j,k,*,*) = A2(j,k,*,*)/T1(*,*)
        ENDFOR
    ENDIF

    FOR k = (j+1),4 DO BEGIN
        T2(*,*) = A2(k,j,*,*)
        FOR n = j,4 DO BEGIN
            A2(k,n,*,*) = A2(k,n,*,*) - T2(*,*)*A2(j,n,*,*)
        ENDFOR
    ENDFOR

ENDFOR

    DTL(i,*,*) = DTL(i,*,*)*A2(4,4,*,*)

ENDFOR

POP1(0,*,*) = 1.
FOR i=1,4 DO BEGIN
    POP1(i,*,*) = DTL(i,*,*)/DTL(0,*,*)
ENDFOR

T1(*,*) = 0.

```

```

FOR i=0,4 DO BEGIN
  T1(*,*) = T1(*,*) + POP1(i,*,*)
ENDFOR

;Populacao dos niveis e emissividades

FOR i = 0,4 DO BEGIN
  POP(i,*,*) = POP1(i,*,*)/T1(*,*)

  FOR j = 0,4 DO BEGIN
    JL(i,j,*,*) = POP(i,*,*)*A(j,i)*E(i,j)

    FOR l = 0,(sxx-1) DO BEGIN
      FOR m = 0,(szy-1) DO BEGIN
        IF (JL(i,j,l,m) lt 1.E-34) THEN JL(i,j,l,m) = 1.E-34
      ENDFOR
    ENDFOR

  ENDFOR

ENDFOR

ENDFOR

RETURN
END

```

Temden

; «< SUBROTINA TEMDEN »>
;(Aplica técnica iterativa para encontrar a temperatura eletrônica ou a densidade eletrônica quando um desses parâmetros é desconhecido)

```
;------  
;|                SUBROTINA TEMDEN                |  
;|_____|  
;|ITER:      Índice de iteração usado para encontrar TEM ou DEN. |  
;|RCAL:      Razão característica calculada na subrotina SOLVE.  |  
;|ROBS:      Razão medida do espectro de observação.            |  
;|X1,X2:     Limites iniciais (absolutos) de TEM ou DEN.        |  
;|XLO,XHI:   Intervalo corrente de TEM ou DEN iterada.          |  
;|RLO,RHI:   Razões calculadas em XLO, XHI.                     |  
;|X:         ‘Melhor chute’ corrente para TEM ou DEN.           |  
;|ERR:       Tolerância percentual em X.                         |  
;|medeer:    Variável de teste de convergência.                 |  
;|medeerOLD: Variável de teste de convergência.                 |  
;|_____|  
;------
```

PRO TEMDEN, szx,szy,IONUM, C, T, DEN, TEM, WEIGHT, ROBS, A, POP, JL,
NCRIT

ERR = 0.001

;Definindo o tamanho de RCAL, RLO, RHI, X, XLO, XHI, X1, X2

RCAL = dindgen(szx,szy)*0.

RHI = dindgen(szx,szy)*0.

RLO = dindgen(szx,szy)*0.

X = dindgen(szx,szy)*0.

XLO = dindgen(szx,szy)*0.

XHI = dindgen(szx,szy)*0.

X1 = dindgen(szx,szy)*0.

X2 = dindgen(szx,szy)*0.

mederr = 1.E10 ; Valor inicial

mederrOLD = 1.E11 ; Valor inicial

print, ‘

```

print, 'Calculando...'
print, ''

;Limites de temperatura
IF ((IONUM MOD 10) eq 2) THEN BEGIN
  X1[*,*] = 4.5E3 & X2[*,*] = 3.1E4
  print, 'Iter# med(Tem) med(XLO) med(Den) med(XHI) Conv.'
ENDIF

;Limites de densidade
IF ((IONUM MOD 10) eq 1) THEN BEGIN
  X1[*,*] = 100. & X2[*,*] = 1.E6
  print, 'Iter# med(Den) med(XLO) med(Tem) med(XHI) Conv.'
ENDIF

;Máximo de Iterações permitidas: 100

ITER = 1

WHILE (((ABS(mederr - mederrOLD))/mederr) gt ERR AND ITER lt 100) DO BE-
GIN

  mederrOLD = mederr

  IF (ITER eq 1) THEN BEGIN
    XLO = X1 & X = XLO
  ENDIF

  IF (ITER eq 2) THEN BEGIN
    XHI = X2 & X = XHI
  ENDIF

  IF (ITER gt 2) THEN BEGIN
    X = sqrt(XLO*XHI)
  ENDIF

  IF ((IONUM MOD 10) eq 2) THEN TEM = X
  IF ((IONUM MOD 10) eq 1) THEN DEN = X

```

```

CALL_PROCEDURE, 'PARII', szx,szy,IONUM, TEM, C, A, T, WEIGHT
CALL_PROCEDURE, 'SOLVE', T, C, DEN, TEM, WEIGHT, A, szx, szy, POP,
JL, NCRIT

```

```

IF (IONUM eq 7001) THEN RCAL = reform( JL(1,0,*,*) / JL(2,0,*,*) )
IF (IONUM eq 7012) THEN RCAL=reform((JL(3,2,*,*)+JL(3,1,*,*))/JL(4,3,*,*))
IF (IONUM eq 8011) THEN RCAL = reform(JL(2,0,*,*) / JL(1,0,*,*))
IF (IONUM eq 8012) THEN RCAL = reform((JL(1,0,*,*)+JL(2,0,*,*)) / (JL(4,2,*,*)
+ JL(4,1,*,*) + JL(3,2,*,*) + JL(3,1,*,*)))
IF (IONUM eq 8022) THEN RCAL=reform((JL(3,2,*,*)+JL(3,1,*,*))/JL(4,3,*,*))
IF (IONUM eq 10022) THEN RCAL=reform((JL(3,0,*,*)+JL(3,1,*,*))/JL(4,3,*,*))
IF (IONUM eq 10031) THEN RCAL = reform( JL(2,0,*,*) / JL(1,0,*,*) )
IF (IONUM eq 10042) THEN RCAL=reform((JL(3,2,*,*)+JL(3,1,*,*))/JL(4,3,*,*))
IF (IONUM eq 16011) THEN RCAL = reform( JL(2,0,*,*) / JL(1,0,*,*) )
IF (IONUM eq 16012) THEN RCAL=reform((JL(1,0,*,*)+JL(2,0,*,*)) / (JL(3,0,*,*)
+ JL(4,0,*,*)))
IF (IONUM eq 16022) THEN RCAL=reform((JL(3,2,*,*)+JL(3,1,*,*))/JL(4,3,*,*))
IF (IONUM eq 17021) THEN RCAL = reform( JL(2,0,*,*) / JL(1,0,*,*))
IF (IONUM eq 17032) THEN RCAL=reform((JL(3,1,*,*)+JL(3,2,*,*))/JL(4,3,*,*))
IF (IONUM eq 18022) THEN RCAL=reform((JL(3,0,*,*)+JL(3,1,*,*))/JL(4,3,*,*))
IF (IONUM eq 18031) THEN RCAL = reform(JL(2,0,*,*) / JL(1,0,*,*))
IF (IONUM eq 18032) THEN RCAL=reform((JL(1,0,*,*)+JL(2,0,*,*)) / (JL(3,0,*,*)
+ JL(4,0,*,*)))
IF (IONUM eq 18042) THEN RCAL=reform((JL(3,1,*,*)+JL(3,2,*,*))/JL(4,3,*,*))

```

;Saída de iterações intermediárias

```

rzreal = where(((robs LT 0.) AND (robs GT -1.E34)) OR ((robs GT 0.) AND
(robs LT 1.E34)))

```

```

mederr = ABS(mean(((RCAL(rzreal) - ROBS(rzreal)) / ROBS(rzreal))))

```

```

IF ((IONUM MOD 10) eq 1) THEN BEGIN
  print, ITER, mean(DEN), mean(XLO), mean(TEM), mean(XHI), mederr
ENDIF

```

```

IF ((IONUM MOD 10) eq 2) THEN BEGIN
  print, ITER, mean(TEM), mean(XLO), mean(DEN), mean(XHI), mederr
ENDIF

```

;Teste de convergência

IF (ITER eq 1) THEN RLO = RCAL

pl0 = where((RCAL-ROBS)/(RLO-ROBS) lt 0.,c0)

IF (ITER eq 2) AND (c0 gt 0) THEN RHI[pl0] = RCAL[pl0]

plc = where((RCAL-ROBS)/(RLO-ROBS) gt 0.,cl)

IF (ITER eq 2) AND (cl gt 0) THEN BEGIN

print, '(RCAL-ROBS)/(RLO-ROBS) > 0: condicoes irreais para alguns pixels'

ROBS[plc] = 0.

ENDIF

IF (ITER gt 2) THEN BEGIN

pl1 = where((ABS(0.5*(XHI-XLO))/(XHI+XLO)) ge ERR),c1)

IF (c1 gt 0) THEN BEGIN

pl2 = where((RCAL-ROBS)/(RHI-ROBS) lt 0., c2)

IF (c2 gt 0) THEN BEGIN

RLO[pl2] = RCAL[pl2] & XLO[pl2] = X[pl2]

ENDIF

pl3 = where((RCAL-ROBS)/(RHI-ROBS) gt 0., c3)

IF (c3 gt 0) THEN BEGIN

RHI[pl3] = RCAL[pl3] & XHI[pl3] = X[pl3]

ENDIF

ENDIF

IF (c1 le 0) THEN RETURN

ENDIF

ITER = ITER + 1

ENDWHILE

IF (c1 gt 0) THEN BEGIN


```
print, ‘  
print, ‘Atencao: nao houve convergencia para alguns pixeis, apos 100 iteracoes.’  
print, ‘—>’, n_elements(pl1), ‘ pixeis nao convergiram.’  
print, ‘  
print, ‘Para ver quais pixeis nao convergiram digite "print, pl1".’  
print, ‘  
ENDIF  
  
RETURN  
END
```

Output

```
; «< SUBROTINA OUTPUT »>  
;(Imprime os resultados finais).
```

```
;  
|-----|  
|                SUBROTINA OUTPUT                |  
|-----|  
|POP:   Fração de eletrons em cada nível.         |  
|JL:    Coeficiente volumétrico de emissão.        |  
|JHB:   Emissividade volumétrica de HBeta (Caso B)|  
|        (usando a fórmula de interpolação de Brocklehurst)|  
|NCRIT: Densidade crítica.                         |  
|XL,XI: Comprimento de onda (Angstroms), Intesidade. |  
|N.B.   Comprimentos de onde > 1E5 Angstroms em Microns. |  
|-----|
```

PRO OUTPUT, IONUM, DIR, DEN, TEM, POP, JL, NCRIT, tlogic, nlogic, temp, dens, T, szx, szy, ILI, ILII, ILIII

```
XL = dindgen(5)
```

```
XI = dindgen(5,szx,szy)
```

```
JHB = dindgen(1)
```

```
;Escreve as populações dos níveis e densidades críticas
```

```
print, ''
```

```
print, 'Nivel Pop. Niveis (MED) Dens. Crit. (/cm2) (MED)'
```

```
print, '1 ', mean(POP(0,*,*))
```

```
FOR j=1,4 DO BEGIN
```

```
    print, (j+1), ' ', mean(POP(j,*,*)), ' ', mean(NCRIT(j,*,*))
```

```
ENDFOR
```

```
print, ''
```

```
;Escreve informações de entrada relevantes
```

```

IF ((IONUM MOD 10) eq 1) THEN BEGIN

    IF (tlogic eq 0) THEN BEGIN
        print, 'Temperatura de entrada:'
    ENDIF

    IF (tlogic eq 1) THEN BEGIN
        print, 'Mapa de temperatura lido do diretorio /home/ferreira/data/ngc40/ngc40_extract/mapa
    ENDIF

ENDIF

IF ((IONUM MOD 10) eq 2) THEN BEGIN

    IF (nlogic eq 0) THEN BEGIN
        print, 'Densidade de entrada:'
        print, 'DEN (/cm3) = ', dens
    ENDIF

    IF (nlogic eq 1) THEN BEGIN
        print, 'Mapa de densidade lido do diretorio /home/ferreira/data/ngc40/ngc40_extract/mapas/
    ENDIF

ENDIF

IF ((IONUM MOD 10) eq 0) THEN BEGIN
;Pausa para conveniência de display
print, 'Pressione 0+ENTER para continuar'
read, DUMMY

;Passa o comprimento de onda para Microns, para os casos > 100000 Angstroms
;Se a emissividade é menor que 1E-35 erg/s, é igualada a 0(zero).

FOR i=1,4 DO BEGIN
    FOR j=0,3 DO BEGIN

        IF (j lt i) THEN BEGIN
            XL(j) = 1./(T(i)-T(j))

```

```

IF (XL(j) ge 1.E5) THEN XL(j)=XL(j)*1.E-4
FOR w=0,(sxx-1) DO BEGIN
  FOR z=0, (szy-1) DO BEGIN
    XI(j,w,z)=JL(i,j,w,z)/DEN(w,z)
    IF (XI(j,w,z) lt 1.E-35) THEN XI(j,w,z)=0.
  ENDFOR
ENDFOR

ENDIF

ENDFOR

IF (i eq 1) THEN BEGIN
  print, ''
  print, XL(0), ' # Lambda'
  print, '(2->1)', ' # Nivel Maior -> Menor'
  print, mean(XI(0,*,*)), ' # Emissividade Volumetrica'
ENDIF

IF (i eq 2) THEN BEGIN
  print, ''
  print, XL(0), XL(1)
  print, '(3->1)', '(3->2)'
  print, mean(XI(0,*,*)), mean(XI(1,*,*))
ENDIF

IF (i eq 3) THEN BEGIN
  print, ''
  print, XL(0), XL(1), XL(2)
  print, '(4->1)', '(4->2)', '(4->3)'
  print, mean(XI(0,*,*)), mean(XI(1,*,*)), mean(XI(2,*,*))
ENDIF

IF (i eq 4) THEN BEGIN
  print, ''
  print, XL(0), XL(1), XL(2), XL(3)
  print, '(5->1)', '(5->2)', '(5->3)', '(5->4)'
  print, mean(XI(0,*,*)), mean(XI(1,*,*)), mean(XI(2,*,*)), mean(XI(3,*,*))

```

ENDIF

ENDFOR

;Fórmula de interpolação de Brocklehurst para emissividade de HBeta

;Acurácia para DEN <= 1.E4 /cm³

T4 = TEM/1.E4

E42 = 1.387/T4^{0.983} / 10.^(0.0424/T4)

JHB = E42*10.⁽⁻²⁵⁾

print, ‘

print, ‘Med(Emissividade Vol. de HBeta): ’, mean(JHB), ’ erg/s’

print, ‘media (Log10 (DEN/sqrt(TEM))) =’, mean(ALOG10(DEN/(sqrt(TEM))))

print, ‘

CALL_PROCEDURE, 'IONIC', IONUM, XI, JL, JHB, DIR, ILI, ILII, ILIII,
DEN, szx, szy, NEL, NELII, NELIII, NELf, IHB

;Resultados finais para Abundância Iônica (display da média dos valores reais):

NELreal = where(((NEL LE 0.) AND (NEL GT -1.E34)) OR ((NEL GT 0.) AND
(NEL LT 1.E34)))

NELIIreal = where(((NELII LE 0.) AND (NELII GT -1.E34)) OR ((NELII GT
0.) AND (NELII LT 1.E34)))

NELIIIreal = where(((NELIII LE 0.) AND (NELIII GT -1.E34)) OR ((NELIII
GT 0.) AND (NELIII LT 1.E34)))

IF (IONUM eq 7000) THEN BEGIN

print, ‘Abundancias ionicas relativas ao [N I]’

print, ‘media (N([N I]) / N(H+)) = ’, mean(NEL(NELreal))

writefits, "abund_ni.fits", NEL

writefits, "abundf_ni.fits", NELf

ENDIF

IF (IONUM eq 7010) THEN BEGIN

print, ‘Abundancias ionicas relativas ao [N II]’

print, ‘media (N([N II] 5755) / N(H+)) = ’, mean(NEL(NELreal))

print, ‘media (N([N II] 6548) / N(H+)) = ’, mean(NELII(NELIIreal))

print, ‘media (N([N II] 6583) / N(H+)) = ’, mean(NELIII(NELIIIreal))

```

writefits, "abund_nii.fits", NEL
writefits, "abund_nii2.fits", NELII
writefits, "abund_nii3.fits", NELIII
writefits, "abundf_nii.fits", NELf
ENDIF

IF (IONUM eq 8000) THEN BEGIN
  print, 'Abundancias ionicas relativas ao [O I]'
  print, 'media (N([O I] 5577) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
  print, 'media (N([O I] 6300) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))
  print, 'media (N([O I] 6363) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))
  writefits, "abund_oi.fits", NEL
  writefits, "abund_oi2.fits", NELII
  writefits, "abund_oi3.fits", NELIII
  writefits, "abundf_oi.fits", NELf
ENDIF

IF (IONUM eq 8010) THEN BEGIN ;No disponível para NGC40
  print, 'Abundancias ionicas relativas ao [O II]'
  print, 'media (N([O II] 3726) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
  print, 'media (N([O II] 3729) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))
  writefits, "abund_oii.fits", NEL
  writefits, "abund_oii2.fits", NELII
  writefits, "abundf_oii.fits", NELf
ENDIF

IF (IONUM eq 8020) THEN BEGIN
  print, 'Abundancias ionicas relativas ao [O III]'
  print, 'media (N([O III] 4363) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
  print, 'media (N([O III] 4959) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))
  print, 'media (N([O III] 5007) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))
  writefits, "abund_oiii.fits", NEL
  writefits, "abund_oiii2.fits", NELII
  writefits, "abund_oiii3.fits", NELIII
  writefits, "abundf_oiii.fits", NELf
ENDIF

IF (IONUM eq 10020) THEN BEGIN
  print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Ne III]'

```

```

print, 'media (N([Ne III] 3342) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
print, 'media (N([Ne III] 3869) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))
print, 'media (N([Ne III] 3969) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))
writefits, "abund_neiii.fits", NEL
writefits, "abund_neiii2.fits", NELII
writefits, "abund_neiii3.fits", NELIII
writefits, "abundf_neiii.fits", NELf
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 10030) THEN BEGIN
  print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Ne IV]'
  print, 'media (N([Ne IV] 2423) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
  print, 'media (N([Ne IV] 2425) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))
  writefits, "abund_neiv.fits", NEL
  writefits, "abund_neiv2.fits", NELII
  writefits, "abundf_neiv.fits", NELf
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 10040) THEN BEGIN
  print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Ne V]'
  print, 'media (N([Ne V] 2975) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
  print, 'media (N([Ne V] 3346) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))
  print, 'media (N([Ne V] 3426) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))
  writefits, "abund_nev.fits", NEL
  writefits, "abund_nev2.fits", NELII
  writefits, "abund_nev3.fits", NELIII
  writefits, "abundf_nev.fits", NELf
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 16010) THEN BEGIN
  print, 'Abundancias ionicas relativas ao [S II]'
  print, 'media (N([S II] 4073) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
  print, 'media (N([S II] 6717) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))
  print, 'media (N([S II] 6731) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))
  writefits, "abund_sii.fits", NEL
  writefits, "abund_sii2.fits", NELII
  writefits, "abund_sii3.fits", NELIII
  writefits, "abundf_sii.fits", NELf

```

ENDIF

IF (IONUM eq 16020) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [S III]'  
print, 'media (N([S III] 6312) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
print, 'media (N([S III] 9069) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))  
print, 'media (N([S III] 9532) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))  
writefits, "abund_siii.fits", NEL  
writefits, "abund_siii2.fits", NELII  
writefits, "abund_siii3.fits", NELIII  
writefits, "abundf_siii.fits", NELf
```

ENDIF

IF (IONUM eq 17010) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Cl II]'  
; print, 'media (N([Cl II]) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
; writefits, "abund_clii.fits", NEL  
; writefits, "abundf_clii.fits", NELf
```

ENDIF

IF (IONUM eq 17020) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Cl III]'  
print, 'media (N([Cl III] 5517) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
print, 'media (N([Cl III] 5537) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))  
writefits, "abund_cliii.fits", NEL  
writefits, "abund_cliii2.fits", NELII  
writefits, "abundf_cliii.fits", NELf
```

ENDIF

IF (IONUM eq 17030) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Cl IV]'  
print, 'media (N([Cl IV] 5323) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
print, 'media (N([Cl IV] 7530) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))  
print, 'media (N([Cl IV] 8045) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))  
writefits, "abund_cliv.fits", NEL  
writefits, "abund_cliv2.fits", NELII  
writefits, "abund_cliv3.fits", NELIII  
writefits, "abundf_cliv.fits", NELf
```


ENDIF

IF (IONUM eq 18020) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Ar III]'  
print, 'media (N([Ar III] 5192) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
print, 'media (N([Ar III] 7136) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
print, 'media (N([Ar III] 7751) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
writefits, "abund_ariii.fits", NEL  
writefits, "abund_ariii2.fits", NELII  
writefits, "abund_ariii3.fits", NELIII  
writefits, "abundf_ariii.fits", NELf
```

ENDIF

IF (IONUM eq 18030) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Ar IV]'  
print, 'media (N([Ar IV]) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
writefits, "abund_ariv.fits", NEL  
writefits, "abundf_ariv.fits", NELf
```

ENDIF

IF (IONUM eq 18040) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [Ar V]'  
print, 'media (N([Ar V] 4626) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
print, 'media (N([Ar V] 6435) / N(H+)) = ', mean(NELII(NELIIreal))  
print, 'media (N([Ar V] 7006) / N(H+)) = ', mean(NELIII(NELIIIreal))  
writefits, "abund_arv.fits", NEL  
writefits, "abund_arv2.fits", NELII  
writefits, "abund_arv3.fits", NELIII  
writefits, "abundf_arv.fits", NELf
```

ENDIF

IF (IONUM eq 19030) THEN BEGIN

```
print, 'Abundancias ionicas relativas ao [K IV]'  
print, 'media (N([K IV]) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))  
writefits, "abund_kiv.fits", NEL  
writefits, "abundf_kiv.fits", NELf
```

ENDIF

IF (IONUM eq 19040) THEN BEGIN

```

    print, 'Abundancias ionicas relativas ao [K V]'
    print, 'media (N([K V]) / N(H+)) = ', mean(NEL(NELreal))
    writefits, "abund_kv.fits", NEL
    writefits, "abundf_kv.fits", NELf
ENDIF

```

```

ENDIF

```

```

;Resultados finais para íons de Temperatura/Densidade

```

```

print, ''
IF ((IONUM mod 10) eq 1) THEN print, 'Resultado final para densidade:'
IF ((IONUM mod 10) eq 2) THEN print, 'Resultado final para temperatura:'

```

```

IF (IONUM eq 7001) THEN BEGIN
    print, 'media (Ne(N0)) = ', mean(DEN), ' cm^ (-3)'
    writefits, "dens_ni.fits", DEN
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 7012) THEN BEGIN
    print, 'media (Te(N+)) = ', mean(TEM), ' K'
    writefits, "temp_nii.fits", TEM
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 8011) THEN BEGIN
    print, 'media (Ne(O+)) = ', mean(DEN), ' cm^ (-3)' ;No programa original está
escrito O++, mas este código corresponde ao O+
    writefits, "dens_oii.fits", DEN
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 8012) THEN BEGIN
    print, 'media (Te(O+)) = ', mean(TEM), ' K'
    writefits, "temp_oii.fits", TEM
ENDIF

```

```

IF (IONUM eq 8022) THEN BEGIN
    print, 'media (Te(O++)) = ', mean(TEM), ' K'
    writefits, "temp_oiii.fits", TEM

```

```

ENDIF

IF (IONUM eq 10022) THEN BEGIN
  print, 'media (Te(Ne++)) = ', mean(TEM), ' K'
  writefits, "temp_neii.fits", TEM
ENDIF

IF (IONUM eq 10031) THEN BEGIN
  print, 'media (Ne(Ne+++)) = ', mean(DEN), ' cm (-3)'
  writefits, "dens_neiv.fits", DEN
ENDIF

IF (IONUM eq 10042) THEN BEGIN
  print, 'media (Te(Ne++++)) = ', mean(TEM), ' K'
  writefits, "temp_nev.fits", TEM
ENDIF

IF (IONUM eq 16011) THEN BEGIN
  print, 'media (Ne(S+)) = ', mean(DEN), ' cm (-3)'
  writefits, "dens_sii.fits", DEN
ENDIF

IF (IONUM eq 16012) THEN BEGIN
  print, 'media (Te(S+)) = ', mean(TEM), ' K'
  writefits, "temp_sii.fits", TEM
ENDIF

IF (IONUM eq 16022) THEN BEGIN
  print, 'media (Te(S++)) = ', mean(TEM), ' K'
  writefits, "temp_siii.fits", TEM
ENDIF

IF (IONUM eq 17021) THEN BEGIN
  print, 'media (Ne(Cl++)) = ', mean(DEN), ' cm (-3)'
  writefits, "dens_cliii.fits", DEN
ENDIF

IF (IONUM eq 17032) THEN BEGIN
  print, 'media (Te(Cl+++)) = ', mean(TEM), ' K'

```

```

    writefits, "temp_cliv.fits", TEM
ENDIF

IF (IONUM eq 18022) THEN BEGIN
    print, 'media (Te(Ar++)) = ', mean(TEM), ' K'
    writefits, "temp_ariii.fits", TEM
ENDIF

IF (IONUM eq 18031) THEN BEGIN
    print, 'media (Ne(ArIV)) = ', mean(DEN), ' cm^ (-3)'
    writefits, "dens_ariv.fits", DEN
ENDIF

IF (IONUM eq 18032) THEN BEGIN ;Este bloco (18032) não está presente na subro-
tina OUTPUT original
    print, 'media (Te(Ar+++)) = ', mean(TEM), ' K'
    writefits, "temp_ariv.fits", TEM
ENDIF

IF (IONUM eq 18042) THEN BEGIN
    print, 'media (Te(Ar++++)) = ', mean(TEM), ' K'
    writefits, "temp_arv.fits", TEM
ENDIF

print, 'OBS: O mapa de Log10(DEN/sqrt(TEM)) nao e salvo automaticamente. Caso
deseje salva-lo entre com o comando: writefits, "arquivo.fits", logx '
print, ''
logx = ALOG10(DEN/(sqrt(TEM)))

IF (IONUM MOD 10 eq 1.) OR (IONUM MOD 10 eq 2.) THEN BEGIN
    print, 'OBS: O mapa de temperatura/densidade calculado foi salvo automatica-
mente.'
    print, ''
ENDIF

IF (IONUM MOD 10 eq 0.) THEN BEGIN
    print, 'OBS: O(s) mapa(s) de abundancias ionicas foram salvos automaticamente.'
    print, ''

```

ENDIF

RETURN

END

Ionic

```
; «< SUBROTINA IONIC »>  
;(Calcula as abundâncias iônicas).
```

```
;  
|-----|  
|                SUBROTINA IONIC                |  
|-----|  
|; NEL:      Abundância iônica do íon, relativa a abundância de H+.|  
|; NELII:    Abundância iônica do íon, relativa a abundância de H+.|  
|; NELIII:   Abundância iônica do íon, relativa a abundância de H+.|  
|; NELf:     Abundância iônica final do íon, normalizada pelo fluxo.|  
|; IHB:      Intensidade da linha HBeta.          |  
|-----|
```

PRO IONIC, IONUM, XI, JL, JHB, DIR, ILI, ILII, ILIII, DEN, szx, szy, NEL, NELII, NELIII, NELf, IHB

```
NEL = dindgen(szx,szy)*0.  
NELII = dindgen(szx,szy)*0.  
NELIII = dindgen(szx,szy)*0.  
IHB = dindgen(szx,szy)*0.
```

```
;Leitura da imagem relativa a HBeta:
```

```
ibeta = DIR+' /hb4861.fits'  
print, 'Lendo imagem correspondente à I(4861)'  
FITS_READ, ibeta, IHB, header  
print, ''
```

```
IF (IONUM eq 7000) THEN BEGIN  
    NEL = (ILI / IHB)*(JHB*DEN / JL(1,0,*,*)) + (ILII / IHB)*(JHB*DEN /  
    JL(2,0))  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 7010) THEN BEGIN  
    NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))  
    NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))  
    NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,2,*,*))
```

ENDIF

IF (IONUM eq 8000) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))$$

$$NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,0,*,*))$$

$$NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 8010) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(2,0,*,*))$$

$$NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(1,0,*,*))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 8020) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))$$

$$NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))$$

$$NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,2,*,*))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 10020) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))$$

$$NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,0,*,*))$$

$$NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 10030) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(2,0,*,*))$$

$$NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(1,0,*,*))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 10040) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))$$

$$NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))$$

$$NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,2,*,*))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 16010) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI/IHB)*(JHB*DEN / JL(4,0,*,*))+(ILI / IHB)*(JHB*DEN / JL(3,0,*,*))$$

$$NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(2,0,*,*))$$

```
NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(1,0,*,*))  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 16020) THEN BEGIN  
  NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))  
  NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))  
  NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,2,*,*))  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 17010) THEN BEGIN  
  ; NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(,*,*)) )  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 17020) THEN BEGIN  
  NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(2,0,*,*))  
  NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(1,0,*,*))  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 17030) THEN BEGIN  
  NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))  
  NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))  
  NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,2,*,*))  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 18020) THEN BEGIN  
  NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))  
  NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,0,*,*))  
  NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 18030) THEN BEGIN  
  NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(2,0,*,*))  
ENDIF
```

```
IF (IONUM eq 18040) THEN BEGIN  
  NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(4,3,*,*))  
  NELII = (ILII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,1,*,*))  
  NELIII = (ILIII / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,2,*,*))
```


ENDIF

IF (IONUM eq 19030) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(3,0,*,*))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 19040) THEN BEGIN

$$NEL = (ILI / IHB) * (JHB * DEN / JL(2,0,*,*))$$

ENDIF

;Abundâncias Iônicas Finais:

IF (IONUM eq 7000) or (IONUM eq 17010) or (IONUM eq 18030) or (IONUM eq 19030) or (IONUM eq 19040) THEN NELf = NEL

IF (IONUM eq 8000) or (IONUM eq 8020) or (IONUM eq 16010) THEN BEGIN

$$ILtotal = ILII + ILIII$$

$$NELf = (NELII * (ILII/ILtotal)) + (NELIII * (ILIII/ILtotal))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 8010) or (IONUM eq 10030) or (IONUM eq 17020) THEN BEGIN

$$ILtotal = ILI + ILII$$

$$NELf = (NEL * (ILI/ILtotal)) + (NELII * (ILII/ILtotal))$$

ENDIF

IF (IONUM eq 2000) or (IONUM eq 7010) or (IONUM eq 10020) or (IONUM eq 10040) or (IONUM eq 16020) or (IONUM eq 17030) or (IONUM eq 18020) or (IONUM eq 18040) THEN BEGIN

$$ILtotal = ILI + ILII + ILIII$$

$$NELf = (NEL * (ILI/ILtotal)) + (NELII * (ILII/ILtotal)) + (NELIII * (ILIII/ILtotal))$$

ENDIF

RETURN

END

Parii

```
; «< SUBROTINA PARIII »>
;(Leitura dos parâmetros dependentes de Te e Ne).
;
;-----
;|                               SUBROTINA PARIII                               |
;|                                                                                   |
;|ALPH:      Coeficiente efetivo de recombinação do elemento.                   |
;|ALPHhb:    Coeficiente efetivo de recombinação para HBeta.                   |
;|denscoef:  Intervalos de densidade eletrônica.                               |
;|alin****:  Coeficiente 'a' de Benjamin et al. 1999.                         |
;|blin****:  Coeficiente 'b' de Benjamin et al. 1999.                         |
;|clin****:  Coeficiente 'c' de Benjamin et al. 1999.                         |
;|a****:     Coeficiente 'a' interpolado para a densidade.                   |
;|b****:     Coeficiente 'b' interpolado para a densidade.                   |
;|c****:     Coeficiente 'c' interpolado para a densidade.                   |
;|const:     Vetor que reúne constantes do cálculo de ALPHA.                   |
;|t:         Temperatura x 10^ (-4)                                           |
;|c:         Velocidade da Luz                                                 |
;|h:         Constante de Planck                                               |
;|-----
```

PRO PARIII, IONUM, TEM, DEN, *szx*, *szy*, ALPHhb, ALPH

ALPHhb = dindgen(*szx*,*szy*)*0.

ALPH = dindgen(5,*szx*,*szy*)*0.

JBENJ = dindgen(5,*szx*,*szy*)*0.

JBENJhb = dindgen(*szx*,*szy*)*0.

denscoef = dindgen(3)*0.

alinhb = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela V

alin4471 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela V

alin4686 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela V

alin5876 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela V

alin6678 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela V

alin7065 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela V

ahb = dindgen(*szx*,*szy*)*0.

a4471 = dindgen(*szx*,*szy*)*0.

a4686 = dindgen(*szx*,*szy*)*0.

a5876 = dindgen(*szx*,*szy*)*0.

a6678 = dindgen(szx,szy)*0.
a7065 = dindgen(szx,szy)*0.
blinhb = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VI
blin4686 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VI
blin4471 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VI
blin5876 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VI
blin6678 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VI
blin7065 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VI
bhb = dindgen(szx,szy)*0.
b4471 = dindgen(szx,szy)*0.
b4686 = dindgen(szx,szy)*0.
b5876 = dindgen(szx,szy)*0.
b6678 = dindgen(szx,szy)*0.
b7065 = dindgen(szx,szy)*0.
clinhb = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VII
clin4686 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VII
clin4471 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VII
clin5876 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VII
clin6678 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VII
clin7065 = dindgen(3)*0. ;Referência: Benjamin et al. 1999 - tabela VII
chb = dindgen(szx,szy)*0.
c4471 = dindgen(szx,szy)*0.
c4686 = dindgen(szx,szy)*0.
c5876 = dindgen(szx,szy)*0.
c6678 = dindgen(szx,szy)*0.
c7065 = dindgen(szx,szy)*0.
const = dindgen(1)*0.
t = dindgen(szx,szy)*0.

h = 6.6260755D * 10.^ (-27) ;Ref.: Jackson, J.D. (1998)
c = 2.99792458D * 10.^ (10) ;Ref.: Lang, K.R. (2006)
t = TEM * 10.^ (-4.)

;Determinação dos Coeficientes Efetivos de recombinação de HBeta

const(0) = (1.986448D)*(10.D)^ (-8)

denscoef(0) = 100

denscoef(1) = 10000

denscoef(2) = 1000000

;Valores dos coeficientes 'a', 'b' e 'c' para densidade = 100 cm⁻³:

alinhb(0) = (1.37D)*(10.D)⁽⁻²⁵⁾

blinhb(0) = -0.982D

clinhb(0) = -0.104

;Valores dos coeficientes 'a', 'b' e 'c' para densidade = 10000 cm⁻³:

alinhb(1) = (1.36D)*(10.D)⁽⁻²⁵⁾

blinhb(1) = -0.979D

clinhb(1) = -0.095D

;Valores dos coeficientes 'a', 'b' e 'c' para densidade = 1000000 cm⁻³:

alinhb(2) = (1.36D)*(10.D)⁽⁻²⁵⁾

blinhb(2) = -0.979D

clinhb(2) = -0.078D

FOR i=0,szx-1 DO BEGIN

FOR j=0,szy-1 DO BEGIN

ahb(i,j) = interpol(alinhb,denscoef,DEN(i,j),/QUADRATIC)

bhb(i,j) = interpol(blinhb,denscoef,DEN(i,j),/QUADRATIC)

chb(i,j) = interpol(clinhb,denscoef,DEN(i,j),/QUADRATIC)

ENDFOR

ENDFOR

;Formulação baseada em Benjamin et al. (1999) & Osterbrock:

JBENJhb(*,*) = ahb * t^(bhb) * exp(chb/t)

ALPHhb = JBENJhb / (h * (c / (4861. * 10.⁽⁻⁸⁾⁾⁾⁾⁾

;~~~~~ Abundância total de He ~~~~~

;Valores dos coeficientes 'a', 'b' e 'c' para densidade = 100 cm⁻³:

$$\begin{aligned} \text{alin4686}(0) &= (1.65\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-24) \\ \text{alin4471}(0) &= (6.68\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26) \\ \text{alin5876}(0) &= (1.73\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-25) \\ \text{alin6678}(0) &= (5.25\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26) \\ \text{alin7065}(0) &= (2.65\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{blin4686}(0) &= -1.118\text{D} \\ \text{blin4471}(0) &= -1.048\text{D} \\ \text{blin5876}(0) &= -1.091\text{D} \\ \text{blin6678}(0) &= -1.202\text{D} \\ \text{blin7065}(0) &= -0.340\text{D} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{clin4686}(0) &= -0.087\text{D} \\ \text{clin4471}(0) &= -0.080\text{D} \\ \text{clin5876}(0) &= -0.024\text{D} \\ \text{clin6678}(0) &= -0.091\text{D} \\ \text{clin7065}(0) &= 0.114\text{D} \end{aligned}$$

;Valores dos coeficientes 'a', 'b' e 'c' para densidade = 10000 cm⁻³:

$$\begin{aligned} \text{alin4686}(1) &= (1.63\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-24) \\ \text{alin4471}(1) &= (3.36\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26) \\ \text{alin5876}(1) &= (8.42\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26) \\ \text{alin6678}(1) &= (4.17\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26) \\ \text{alin7065}(1) &= (6.49\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{blin4686}(1) &= -1.11\text{D} \\ \text{blin4471}(1) &= 0.092\text{D} \\ \text{blin5876}(1) &= 0.304\text{D} \\ \text{blin6678}(1) &= -0.712\text{D} \\ \text{blin7065}(1) &= 0.323\text{D} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{clin4686}(1) &= -0.086\text{D} \\ \text{clin4471}(1) &= 0.665\text{D} \\ \text{clin5876}(1) &= 0.821\text{D} \\ \text{clin6678}(1) &= 0.192\text{D} \\ \text{clin7065}(1) &= -0.053\text{D} \end{aligned}$$

;Valores dos coeficientes 'a', 'b' e 'c' para densidade = 1000000 cm⁻³:

$$\text{alin4686}(2) = (1.56\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-24)$$

$$\text{alin4471}(2) = (3.03\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26)$$

$$\text{alin5876}(2) = (8.03\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26)$$

$$\text{alin6678}(2) = (4.03\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26)$$

$$\text{alin7065}(2) = (9.25\text{D}) * (10.\text{D}) ^ (-26)$$

$$\text{blin4686}(2) = -1.091\text{D}$$

$$\text{blin4471}(2) = 0.286\text{D}$$

$$\text{blin5876}(2) = 0.484\text{D}$$

$$\text{blin6678}(2) = -0.607\text{D}$$

$$\text{blin7065}(2) = 0.182\text{D}$$

$$\text{clin4686}(2) = -0.079\text{D}$$

$$\text{clin4471}(2) = 0.793\text{D}$$

$$\text{clin5876}(2) = 0.908\text{D}$$

$$\text{clin6678}(2) = 0.247\text{D}$$

$$\text{clin7065}(2) = -0.232\text{D}$$

;Determinação dos Coeficientes Efetivos de recombinação:

FOR i=0,szx-1 DO BEGIN

FOR j=0,szy-1 DO BEGIN

$$\text{a4471}(i,j) = \text{interpol}(\text{alin4471}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{a4686}(i,j) = \text{interpol}(\text{alin4686}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{a5876}(i,j) = \text{interpol}(\text{alin5876}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{a6678}(i,j) = \text{interpol}(\text{alin6678}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{a7065}(i,j) = \text{interpol}(\text{alin7065}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{b4471}(i,j) = \text{interpol}(\text{blin4471}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{b4686}(i,j) = \text{interpol}(\text{blin4686}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{b5876}(i,j) = \text{interpol}(\text{blin5876}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{b6678}(i,j) = \text{interpol}(\text{blin6678}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{b7065}(i,j) = \text{interpol}(\text{blin7065}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{c4471}(i,j) = \text{interpol}(\text{clin4471}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

$$\text{c4686}(i,j) = \text{interpol}(\text{clin4686}, \text{denscoef}, \text{DEN}(i,j), / \text{QUADRATIC})$$

```

c5876(i,j) = interpol(clin5876,denscoef,DEN(i,j),/QUADRATIC)
c6678(i,j) = interpol(clin6678,denscoef,DEN(i,j),/QUADRATIC)
c7065(i,j) = interpol(clin7065,denscoef,DEN(i,j),/QUADRATIC)

```

```

ENDFOR
ENDFOR

```

;Formulação baseada em Benjamin et al. (1999) & Osterbrock:

```

JBENJ(0,*,*) = a4471 * t ^ (b4471) * exp(c4471/t)
JBENJ(1,*,*) = a4686 * t ^ (b4686) * exp(c4686/t)
JBENJ(2,*,*) = a5876 * t ^ (b5876) * exp(c5876/t)
JBENJ(3,*,*) = a6678 * t ^ (b6678) * exp(c6678/t)
JBENJ(4,*,*) = a7065 * t ^ (b7065) * exp(c7065/t)

```

```

ALPH(0,*,*) = JBENJ(0,*,*) / (h * (c / (4471. * 10.^ (-8))))
ALPH(1,*,*) = JBENJ(1,*,*) / (h * (c / (4686. * 10.^ (-8))))
ALPH(2,*,*) = JBENJ(2,*,*) / (h * (c / (5876. * 10.^ (-8))))
ALPH(3,*,*) = JBENJ(3,*,*) / (h * (c / (6678. * 10.^ (-8))))
ALPH(4,*,*) = JBENJ(4,*,*) / (h * (c / (7065. * 10.^ (-8))))

```

```

RETURN
END

```


CALL_PROCEDURE, 'PARIII', IONUM, TEM, DEN, szx, szy, ALPHhb, ALPH

IHB = dindgen(szx,szy)*0.

IL4686 = dindgen(szx,szy)*0.

NEL = dindgen(szx,szy)*0.

NELII = dindgen(szx,szy)*0.

NELIII = dindgen(szx,szy)*0.

ILtotal = dindgen(szx,szy)*0.

NELf = dindgen(szx,szy)*0.

NEL4686 = dindgen(szx,szy)*0.

ibeta = DIR+'hb4861.fits'

print, 'Lendo imagem correspondente à I(4861)'

FITS_READ, ibeta, IHB, header

NEL4686 = dindgen(szx,szy)*0.

i4686 = DIR+'heii4686.fits'

print, 'Lendo imagem correspondente à I(4686)'

print, ''

FITS_READ, i4686, IL4686, header

NEL = (ILI / IHB) * (ALPHhb / ALPH(0,*,*)) * (4471./4861.)

NELII = (ILII / IHB)*(ALPHhb / ALPH(2,*,*)) * (5876./4861.)

NELIII = (ILIII / IHB) * (ALPHhb / ALPH(3,*,*))*(6678./4861.)

ILtotal = ILI + ILII + ILIII

NELf = (NEL * (ILI/ILtotal)) + (NELII * (ILII/ILtotal)) +(NELIII * (ILIII/ILtotal))

NEL4686=(IL4686 / IHB)*(ALPHhb / ALPH(1,*,*)) * (4686./4861.)

ABUND = NELf + NEL4686

writefits, "abundf_hei.fits", NELf

writefits, "abundf_heii.fits", NEL4686

writefits, "tot_he.fits", ABUND

print, 'Arquivos de saída salvos:'

print, "Abundância iônica de HeI: abundf_hei.fits"

```

print, "Abundância iônica de HeII: abundf_heii.fits"
print, "Abundância total de He: tot_he.fits"

ENDIF

;~~~~~ Abundância total de N ~~~~~

IF IONUM eq 7003 THEN BEGIN

    otest = file_test(DIR+'../../abund/median/tot_o.fits')
    otest2 = file_test(DIR+'../../ionic/abundf_oii.fits')
    ntest = file_test(DIR+'../../ionic/abundf_nii.fits')

    IF (otest eq 0) OR (otest2 eq 0) OR (ntest eq 0) THEN BEGIN
        print, 'Para o cálculo da abundância total de N é necessário, primeiro, calcular
as abundâncias iônicas de O+ e N+ e a abundância total de O.'
        print, 'Algum(s) desses mapas necessários não foi encontrado, o que impossibilita
o cálculo!'
    ENDIF

    OXY = dindgen(szx,szy)*0.
    OXYII = dindgen(szx,szy)*0.
    NII = dindgen(szx,szy)*0.

    ox = DIR+'../../abund/oxygen.fits'
    FITS_READ, ox, OXY, header
    oxii = DIR+'../../ionic/abundf_oii_liuetal2004.fits'
    FITS_READ, oxii, OXYII, header
    nitii = DIR+'../../ionic/abundf_nii.fits'
    FITS_READ, nitii, NII, header

    print, 'Cálculo de abundância total de N'
    ICF = OXY / OXYII ;Referência: Kingsburgh & Barlow (1994)
    ABUND = ICF * NII
    writefits, 'tot_n.fits', ABUND
    print, 'Arquivos de saída salvos:'
    print, 'Abundância total de N: tot_n.fits'

```

ENDIF

;~~~~~ Abundância total de O ~~~~~

IF IONUM eq 8003 THEN BEGIN

```
otest2 = file_test(DIR+'../../ionic/median/abundf_oiii.fits')
hetest  = file_test(DIR+'../../ionic/median/abundf_hei.fits')
hetest2 = file_test(DIR+'../../ionic/median/abundf_heii.fits')
```

IF (otest2 eq 0) OR (hetest eq 0) OR (hetest2 eq 0) THEN BEGIN

print, 'Para o cálculo da abundância total de O é necessário, primeiro, calcular as abundâncias iônicas de O+, O++, He+ e He++.'

print, 'Algum(s) dos mapas de He necessários não foi(foram) encontrado(s), o que impossibilita o cálculo!'

print, ''

ENDIF

OXYII = dindgen(szx,szy)*0.

OXYIII = dindgen(szx,szy)*0.

HEI = dindgen(szx,szy)*0.

HEII = dindgen(szx,szy)*0.

oxiii = DIR+'../../ionic/median/abundf_oiii.fits'

FITS_READ, oxiii, OXYIII, header

heli = DIR+'../../ionic/median/abundf_hei.fits'

FITS_READ, heli, HEI, header

heii = DIR+'../../ionic/median/abundf_heii.fits'

FITS_READ, heii, HEII, header

print, 'Cálculo de abundância total de O'

ICF = ((HeI + HeII) / HeI) ^ (2./3.) ;Referência: Kingsburgh & Barlow (1994)

print, mean(ICF)

ABUND = ICF * (OXYII + OXYIII)

writefits, 'tot_o.fits', ABUND

print, 'Arquivos de saída salvos:'

print, 'Abundância total de O: tot_o.fits'

ENDIF

;~~~~~ Abundância total de Ne ~~~~~

IF IONUM eq 10003 THEN BEGIN

```
otest = file_test(DIR+'../abund/tot_o.fits')
otest2 = file_test(DIR+'../ionic/abundf_oiii.fits')
netest = file_test(DIR+'../ionic/abundf_neiii.fits')
```

IF (otest eq 0) OR (otest2 eq 0) OR (netest eq 0) THEN BEGIN

print, 'Para o cálculo da abundância total de Ne é necessário, primeiro, calcular as abundâncias iônicas de O++ e Ne++ e abundância total de O.'

print, 'Algum(s) desses mapas necessários não foi encontrado, o que impossibilita o cálculo!'

ENDIF

```
OXY = dindgen(szx,szy)*0.
OXYIII = dindgen(szx,szy)*0.
NEIII = dindgen(szx,szy)*0.
```

```
ox = DIR+'../abund/tot_o.fits'
FITS_READ, ox, OXY, header
oxiii = DIR+'../ionic/abundf_oiii.fits'
FITS_READ, oxiii, OXYIII, header
neoiii = DIR+'../ionic/abundf_neiii.fits'
FITS_READ, neoiii, NEIII, header
```

print, 'Cálculo de abundância total de Ne'

ICF = (OXY / OXYIII) ;Referência: Kingsburgh & Barlow (1994)

ABUND = ICF * NEIII

writefits, 'tot_ne.fits', ABUND

print, 'Arquivos de saída salvos:'

print, 'Abundância total de Ne: tot_ne.fits'

ENDIF

;~~~~~ Abundância total de S ~~~~~

```

IF IONUM eq 16003 THEN BEGIN

    otest = file_test(DIR+'../ionic/abundf_oi_luetal2004.fits')
    otest2 = file_test(DIR+'../abund/tot_o.fits')
    stest = file_test(DIR+'../ionic/abundf_sii.fits')
    stest2 = file_test(DIR+'../ionic/abundf_siii.fits')

    IF ((otest eq 0) or (otest2 eq 0) or (stest eq 0)) THEN BEGIN
        print, 'Para o cálculo da abundância total de S é necessário, primeiro, calcular
as abundâncias iônicas de O+ e S+ e abundância total de O.'
        print, 'Algum(s) desses mapas necessários não foi encontrado, o que impossibilita
o cálculo!'
    ENDIF

    OXYII = dindgen(szx,szy)*0.
    OXY = dindgen(szx,szy)*0.
    SII = dindgen(szx,szy)*0.
    SIII = dindgen(szx,szy)*0.

    oxii = DIR+'../ionic/abundf_oi_luetal2004.fits'
    FITS_READ, oxii, OXYII, header
    ox = DIR+'../abund/tot_o.fits'
    FITS_READ, ox, OXY, header
    sulii = DIR+'../ionic/abundf_sii.fits'
    FITS_READ, sulii, SII, header

    IF (stest2 eq 1) THEN BEGIN
        suliii = DIR+'../ionic/abundf_siii.fits'
        FITS_READ, suliii, SIII, header
    ENDIF ELSE BEGIN
        SIII=(4.677+((OXYIII/OXYII)^ 0.433))*SII ;Ref. Kingsburgh & Barlow(1994)
    ENDELSE

    print, 'Cálculo de abundância total de S'
    ICF = (1-((1-(OXYII/OXY))^ 3))^ (-1./3.) ;Referência: Kingsburgh & Barlow
(1994)
    ABUND = ICF * (SII + SIII)
    writefits, 'tot_s.fits', ABUND
    print, 'Arquivos de saída salvos:'

```

```

    print, 'Abundância total de S: tot_s.fits'

ENDIF

;~~~~~ Abundância total de Ar ~~~~~

IF IONUM eq 18003 THEN BEGIN

    netest = file_test(DIR+'../abund/tot_ne.fits')
    netest2 = file_test(DIR+'../ionic/abundf_neiii.fits')
    artest = file_test(DIR+'../ionic/abundf_ariv.fits')

    IF (netest eq 0) OR (netest2 eq 0) OR (artest eq 0) THEN BEGIN
        print, 'Para o cálculo da abundância total de Ar é necessário, primeiro, calcular
a abundância iônica de Ne++ e Ar+++ e abundância total de Ne.'
        print, 'Algum(s) desses mapas necessários não foi encontrado, o que impossibilita
o cálculo!'
    ENDIF

    NEO = dindgen(szx,szy)*0.
    NEIII = dindgen(szx,szy)*0.
    ARIV = dindgen(szx,szy)*0.

    totne = DIR+'../abund/tot_o.fits'
    FITS_READ, totne, NEO, header
    neoiii = DIR+'../ionic/abundf_neiii.fits'
    FITS_READ, neoiii, NEIII, header
    ar = DIR+'../ionic/abundf_ariv.fits'
    FITS_READ, ar, ARIV, header

    print, 'Cálculo de abundância total de Ar'
    ICF = (NEO / NEIII) ;Referência: Kingsburgh & Barlow (1994)
    ABUND = ICF * ARIV
    writefits, 'tot_ar.fits', ABUND
    print, 'Arquivos de saída salvos:'
    print, 'Abundância total de Ar: tot_ar.fits'

ENDIF

```

RETURN
END